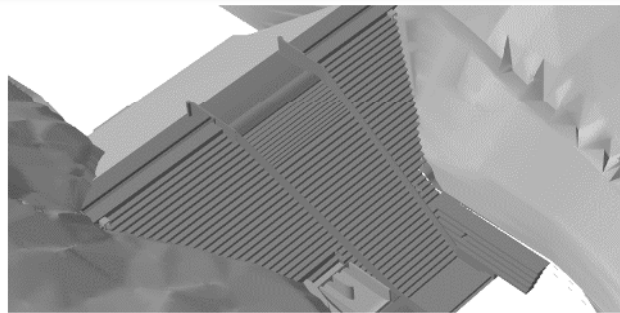




SÉCURISATION DU COMPLEXE HYDRAULIQUE FORMÉ PAR LES BARRAGES DE SAINTE-CÉCILE D'ANDORGE ET DES CAMBOUS

Pièce 8c

DOSSIER D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE



CHANGER LE SENS
DE VOTRE QUOTIDIEN

GARD.FR

Barrage des Cambous

Étude de dangers (EDD) au titre de la rubrique 3.2.5.0





SECURISATION DU COMPLEXE HYDRAULIQUE FORME PAR LES BARRAGES DE SAINTE CECILE D'ANDORGE ET DES CAMBOUS

Barrage des Cambous

Résumé non technique de l'Étude de Dangers actualisée



Indice C – Juin 2023

	<p>Maîtres d'œuvre BRL ingénierie 1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5</p>
	<p>ISL Ingénierie SAS – MONTPELLIER 65 rue Clément Ader 34170 - Castelnau-le-Lez</p>
 MEDiterranée, Infrastructure, Aménagement, et Eau	<p>MEDIAE ZAC de la Petite Camargue, 352 chemin des Oliviers 34400 LUNEL</p>
	<p>Maître d'ouvrage Conseil Départemental du Gard Direction de l'Eau et de la Valorisation du Patrimoine Naturel 3 rue Guillemette 30044 Nîmes Cedex 9</p>

Date du document	25/04/2022
Contact	Julien VANWARREGHEM

Titre du document	Sécurisation du complexe hydraulique formé par les barrages de Sainte Cécile d'Andorge et des Cambous – Barrage des Cambous – Résumé non technique de l'Etude de Dangers actualisée
Référence du document :	A00593_CAM_EDD_Résumé_indC
Indice :	C

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
25/04/2022	A	Première version	Alexandre DORADOUX	Julien VANWARREGHEM
20/06/2022	B	Actualisation suite aux remarques AMO / MOA	Alexandre DORADOUX	Julien VANWARREGHEM
02/06/2023	C	Prise en compte remarques AMO et DREAL	Alexandre DORADOUX	Julien VANWARREGHEM

SECURISATION DU COMPLEXE HYDRAULIQUE FORME PAR LES BARRAGES DE SAINTE CECILE D'ANDORGE ET DES CAMBOUS

Barrage des Cambous

Résumé non technique de l'Etude de Dangers actualisée

PRÉAMBULE	9
0 RÉSUMÉ NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS	10
0.1 L'OUVRAGE ET SON ENVIRONNEMENT	10
0.1.1 Le barrage	10
0.1.2 Le barrage dans son environnement	14
0.1.3 Les organes de sécurité	15
0.1.3.1 Le seuil déversant	15
0.1.3.2 Le dispositif de vidange de fond	16
0.2 EXPLOITATION ET GESTION DE SECURITE	16
0.2.1 L'exploitation	16
0.2.2 La surveillance	17
0.3 LES BILANS : CONCEPTION, COMPORTEMENT ET ETAT DU BARRAGE	17
0.3.1 Le barrage	17
0.3.2 Cote de dangers de l'ouvrage	18
0.4 EXPOSITION DU BARRAGE AUX ALEAS NATURELS	18
0.4.1 Hydrologie des crues	18
0.4.2 Sismicité	19
0.4.3 Glissement de terrain dans la retenue et création de vague isolée	19
0.4.4 Vent	19
0.4.5 Gel	19
0.4.6 Foudre	19
0.4.7 Engrèvement	19
0.4.8 Embâcles	20
0.4.9 Feu de forêt	20
0.5 ANALYSE DE RISQUES	20
0.5.1 La méthode d'analyse employée	20
0.5.2 Les Evènements Redoutés Centraux (ERC) et Phénomènes Dangereux (PhD)	22
0.5.2.1 Listing des ERC	22
0.5.2.2 Présentation des ERC	22
0.5.2.3 Criticité des ERC	23
0.6 MESURES DE REDUCTION DES RISQUES	24
0.6.1 Mesures de réduction des risques	24

0.6.2	Mesures d'amélioration et de maîtrise du risque	25
0.7	CARTOGRAPHIE.....	26

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du barrage des Cambous	10
Figure 2 : Périmètre de l'étude (source : Google Earth)	11
Figure 3 : Coupe de l'ouvrage au droit du dispositif de vidange de fond	12
Figure 4 : Coupe de l'ouvrage au droit du dispositif de restitution	13
Figure 5 : Méthodologie de la présente analyse de risque	20
Figure 6 : Modèle de matrice de criticité utilisé dans la présente étude de dangers (état conforté)	21
Figure 7 : Matrice de criticité – Classification des scénarios (état conforté)	24

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Capacité d'évacuation du seuil déversant	15
Tableau 2 : Grille de gravité utilisée dans cette EDD pour les événements extrêmes.....	21
Tableau 3 : Liste des événements redoutés centraux (ERC) retenus pour l'étude de dangers 2022 du barrage des Cambous.....	22

PREAMBULE

Conformément à la réglementation, et compte tenu des travaux à venir pour la sécurisation du complexe hydraulique constitué par le barrage de Sainte Cécile d'Andorge et le barrage des Cambous, une mise à jour de l'Etude De Dangers initiale a été menée pour le barrage des Cambous.

L'objet de ce résumé non technique est de fournir à des lecteurs non-spécialistes du domaine des barrages, une information objective et factuelle et leur permettre une appréciation convenable des enjeux.

Le périmètre de l'étude porte sur le barrage, son seuil déversant, l'ouvrage de vidange de fond et de restitution, la retenue et ses berges.



0 RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS

0.1 L'OUVRAGE ET SON ENVIRONNEMENT

0.1.1 Le barrage

AMENAGEMENT DES CAMBOUS

Le barrage des Cambous se situe sur le Gardon d'Alès, dans le département du Gard, à 4 km en amont de la ville de la Grand-Combe et à 18 km de la ville d'Alès.

L'ouvrage et la retenue qu'il forme se trouvent sur les communes de Sainte Cécile d'Andorge et de Branoux-les-Taillades, au lieudit Les Cambous.

La carte de localisation de l'ouvrage est représentée ci-dessous :



Figure 1 : Localisation du barrage des Cambous

Le barrage des Cambous, propriété du département du Gard depuis 1992, fut créé en 1956 par les Houillères de Bassin du centre et du Midi (H.B.C.M.) afin de disposer d'une retenue d'eau nécessaire à l'alimentation de la centrale du Fesc et au refroidissement des chaudières des mines de la Grand-Combe. Actuellement, la retenue n'a plus la même vocation. Les volumes stockés ne servent qu'occasionnellement au soutien d'étiage lorsque le barrage de Sainte Cécile d'Andorge situé juste en amont n'est plus en mesure de l'assurer. Le reste du temps le plan d'eau est à niveau quasiment constant ce qui favorise des activités touristiques variées.

En 2002-2003, le Département a procédé au renouvellement et à la modernisation de la chambre des vannes en installant une prise d'eau à niveau variable qui se raccorde sur une conduite de restitution équipée en sortie d'une vanne à jet creux. La couche d'usure du seuil déversant a été aussi entièrement refaite et le Département a profité de cette occasion pour réaliser une pile centrale qui permet de manœuvrer la prise à niveau variable, d'accueillir un pendule de mesure des déplacements et de faciliter le nettoyage du périmètre situé autour des conduites de restitution et de vidange.



PERIMETRE DE L'ÉTUDE DE DANGERS

Conformément aux articles L211-3-III et R214-115 à R214-117 du Code de l'Environnement et au décret n° 2007-1735 du 11 Décembre 2007, le barrage des Cambous a fait l'objet d'une étude de dangers initiale en 2013.

Le présent document entre dans le cadre des travaux à venir pour la sécurisation du complexe hydraulique constitué par le barrage de Sainte Cécile d'Andorge et le barrage des Cambous.

Dans le cadre de ce projet, la mise à jour de l'Etude De Dangers initiale du barrage des Cambous est attendue. Conformément au point d) du §1 de l'Annexe de l'Arrêté du 3 septembre 2018 modifiant l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan d'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu, la présente EDD est réalisée suivant le cas n°2 puisqu'elle se réfère à « une demande d'autorisation ou d'approbation nouvelle d'un barrage existant en raison des travaux qui y sont prévus ».

Par ailleurs, par application de l'arrêté du 15 mars 2017 (précisant les documents techniques relatifs aux barrages prévus par les articles R. 214-119 et R. 214-122 du code de l'environnement), seuls « les chapitres pertinents de l'étude de dangers » ont été mis à jour.

Le périmètre de la présente étude de dangers, désigné par "ouvrage", est l'ensemble constitué des éléments du barrage des Cambous qui vont être modifiés par les travaux et de la retenue qu'il crée sur le Gardon d'Alès. Les autres éléments de l'aménagement font partie de l'environnement de l'ouvrage.

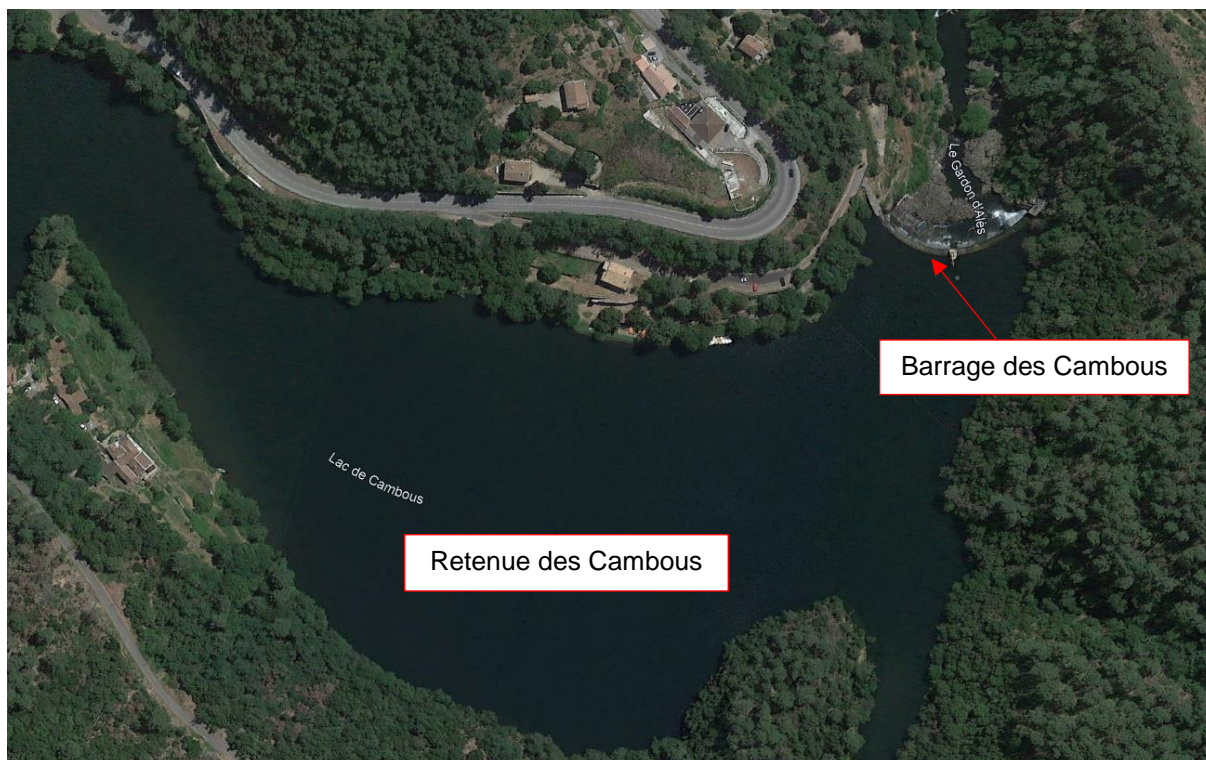


Figure 2 : Périmètre de l'étude (source : Google Earth)

BARRAGE DES CAMBOUS

Etat existant :

Le barrage des Cambous est un ouvrage de classe A.



Le barrage des Cambous est un ouvrage en béton armé de type voûte déversante d'une hauteur de **25m** et d'une longueur en crête de 120 m, dont 85 m sont déversants.

Sa crête est à une altitude de **227 m NGF** qui constitue également la côte de retenue normale.

Il comporte :

- Un seuil déversant ;
- Un dispositif de vidange de fond permettant la vidange de la retenue ;
- Un dispositif de restitution permettant le soutien d'étiage.

Des coupes de l'ouvrage au droit du dispositif de vidange et du dispositif de restitution sont présentées en figures suivantes.

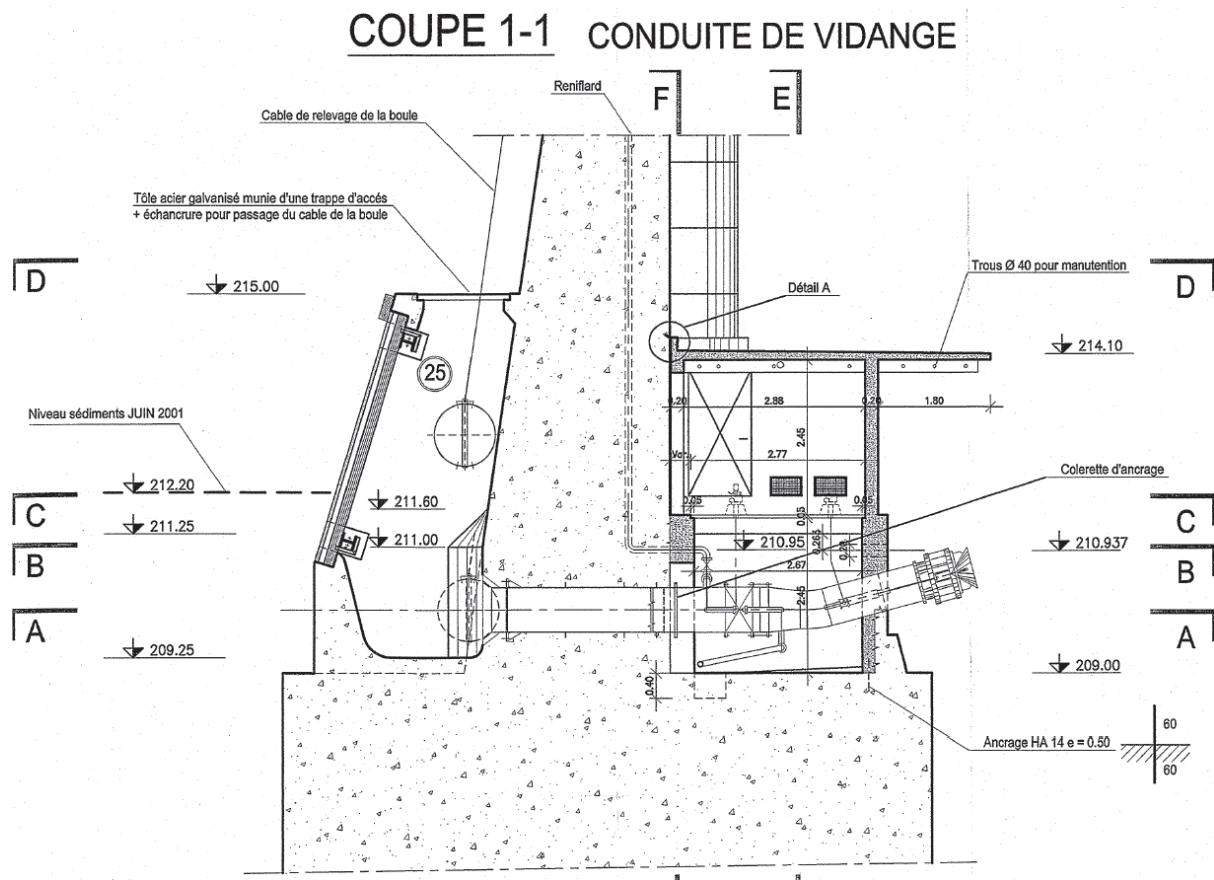


Figure 3 : Coupe de l'ouvrage au droit du dispositif de vidange de fond



Prise d'eau à niveau variable
Bras articulé immergé

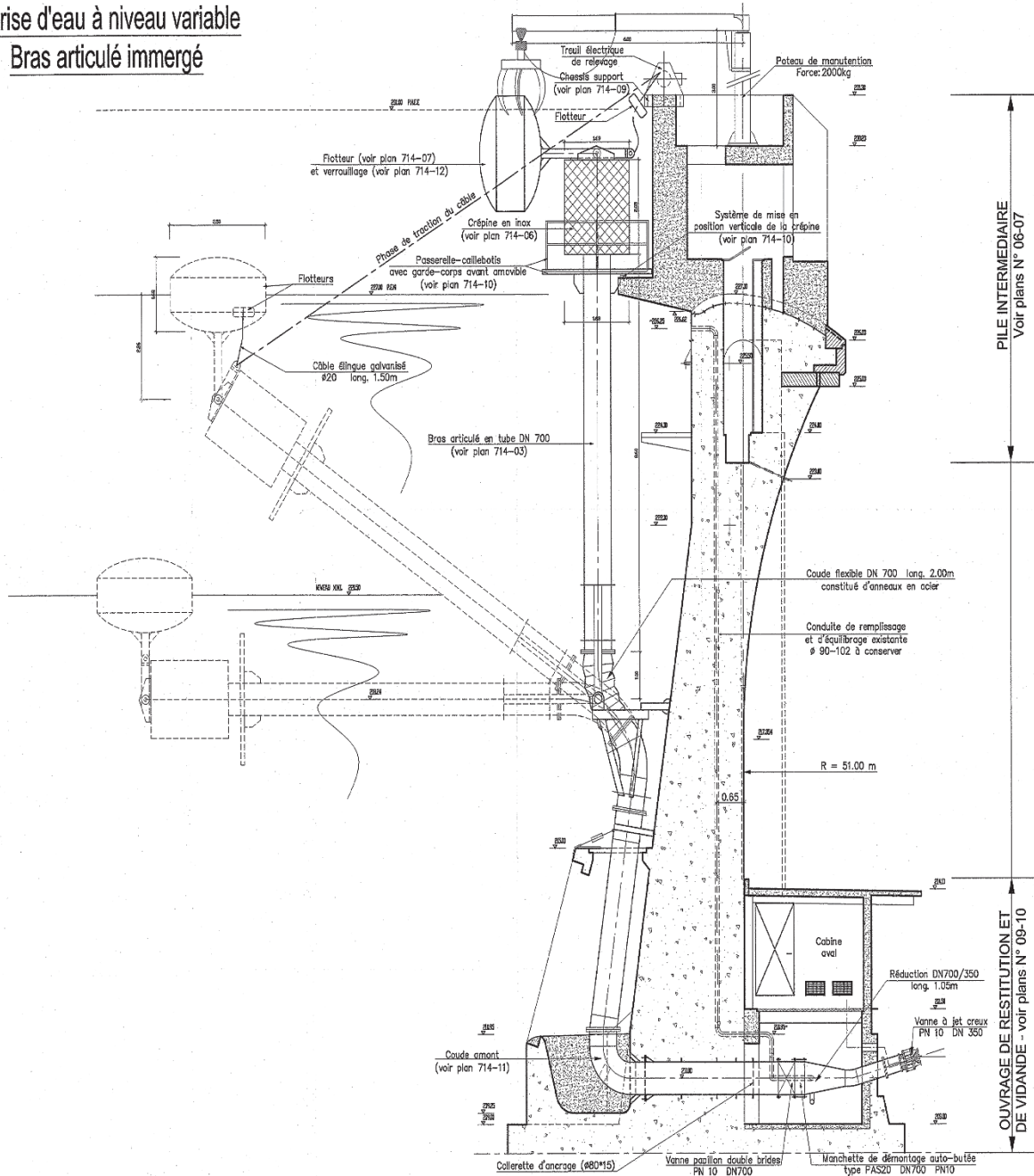


Figure 4 : Coupe de l'ouvrage au droit du dispositif de restitution

Après les travaux de sécurisation du barrage :

Les vannes à jets creux de restitution et de vidange seront remplacées par des vannes annulaires à piston. Des travaux de confortement du génie civil sont également prévus dans ce cadre au niveau de la fosse aval, du massif de butée rive droite et de la chambre aval :

- **Chambre aval :**
 - Déconstruction de la chambre existante et reconstruction du nouveau local, adapté aux dimensions des nouveaux équipements de vannerie ;
- **Massif de butée rive droite :**
 - Réalisation d'injection de fissures ;
 - Mise en place de barbacanes ;



- Réalisation d'une carapace en béton armé.
- **Fosse aval rive droite :**
 - Réalisation d'un tapis en béton armé pour palier le risque d'érosion au pied du barrage.
- Fosse aval rive gauche :
 - Confortement du tapis en béton existant par la réalisation d'une nouvelle carapace en béton armé.

RETENUE DES CAMBOUS

La retenue formée par le barrage des Cambous présente un volume de 1.12 millions de m³ et une superficie de 19 ha à la cote de 227 m NGF.

DISPOSITIF D'AUSCULTATION

Etat existant :

Un dispositif d'auscultation permet le suivi des déplacements, de la piézométrie, et des débits collectés.

Après les travaux de sécurisation du barrage :

Le dispositif d'auscultation du barrage sera amélioré. Il sera complété par un second pendule de mesure des déplacements en pied de barrage, 6 nouveaux vinchons, 2 nouveaux piézomètres en culées rive gauche et rive droite, de nouveaux drains, deux collecteurs de drains et 3 cellules de pression interstitielles au niveau des plots centraux pour le suivi des pressions.

0.1.2 Le barrage dans son environnement

L'environnement de l'ouvrage est constitué des éléments suivants :

- En amont :
 - Le bassin versant à l'amont du barrage, d'une superficie de 9 km² ;
 - Les activités touristiques ayant lieu sur et autour de la retenue ;
 - Le barrage de Sainte Cécile d'Andorge, barrage en enrochements avec masque amont en béton bitumineux de 45 m de hauteur par rapport à sa fondation, exploité par le CD30, et situé à environ 1.5 km en amont du barrage des Cambous.

Les principaux travaux envisagés dans le cadre du projet de sécurisation du barrage de Sainte Cécile d'Andorge concernent :

 - L'ajout d'un nouvel évacuateur de crues en BCR sur le remblai ;
 - La rénovation intégrale du masque amont ;
 - La rehausse de la RN 106 ;
- En aval de l'ouvrage :
 - De nombreuses communes :
 - Branoux-Les-Taillades ;
 - Laval Pradel ;
 - Les Salles-Du-Gardon ;
 - La Grand Combe ;
 - Cendras ;
 - Alès ;
 - Saint-Martin-De-Valgagues ;
 - Saint-Hilaire-De-Brethmas ;



- Saint-Christol-Les-Ales ;
- Moussac ;
- La Calmette ;
- Collias ;
- Remoulins ;
- Montfrin ;
- Aramon.

La zone qui peut être impactée par l'onde de submersion de rupture totale du barrage comprend des zones industrielles et commerciales, des établissements scolaires, des gymnases, des lieux de culte, mais aussi des voies ferrées et des axes routiers.

0.1.3 Les organes de sécurité

Les organes de sécurité portent sur deux fonctions :

- L'évacuation des crues en maîtrisant la cote de la retenue ;
- La vidange par la vanne de fond.

0.1.3.1 Le seuil déversant

La crête est constituée d'un seuil déversant. Ce seuil était en mauvais état et a été déconstruit en 2002 sur 20 cm d'épaisseur sur tout le linéaire de l'ouvrage, puis reconstruit à l'identique.

Une brèche de concentration des débits, longue de 10 m et profonde de 10 cm a été aménagée en rive droite pour les bas débits (jusqu'à $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$). Au-delà de 227,00 mNGF environ, tout le seuil déversant se met en service, soit 85 ml (la pile intermédiaire faisant 4m).

La capacité du déversoir, en fonction de la cote de remplissage est donnée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Capacité d'évacuation du seuil déversant

COTE (m NGF)	DEBIT (données issues de la modélisation hydraulique, en m^3/s)	DEBIT (calculé par la loi de seuil en m^3/s)
226,90	0	0
227	0 ¹	0,60
228	190	180
229	520	500
230	930	905
230.40	1 080	1 090
231.10	1 470	1 450

¹ Le modèle réalisé n'ayant pas pris en compte l'échancrure, on trouve un débit nul à la cote 227 m NGF.



0.1.3.2 Le dispositif de vidange de fond

Etat existant :

Actuellement les ouvrages de restitution et de vidange possèdent un débit cumulé maximum à pleine charge estimé à $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (4 +1,4). Cependant ce débit n'est pas suffisant pour permettre une vidange de la retenue selon les périodes de l'année.

Après les travaux de sécurisation du barrage :

Les modifications apportées aux conduites de restitution et de vidange ont pour but d'augmenter la capacité hydraulique de l'ouvrage de restitution à environ $8 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$ auparavant.

Après les travaux de sécurisation du barrage des Cambous, la capacité d'évacuation hydraulique sera augmentée, via :

- La fourniture et la pose d'une vanne annulaire motorisée en DN 900 sur le circuit de vidange ;
- La fourniture et la pose d'une vanne annulaire motorisée en DN 900 sur le circuit de restitution.

0.2 EXPLOITATION ET GESTION DE SECURITE

0.2.1 L'exploitation

L'ouvrage est la propriété du Conseil Départemental du Gard (CD30) qui en assure sa gestion. Il est responsable de la mobilisation des moyens financiers, humains, techniques et organisationnels permettant l'exploitation et la surveillance de son ouvrage, pour en garantir la sécurité. L'entretien, la surveillance et l'exploitation du barrage des Cambous sont portés par le CD30.

En appui technique dans le domaine de la sûreté, BRL ingénierie est mobilisé.

L'exploitation de l'ouvrage est strictement encadrée par le règlement d'eau et les consignes qui prescrivent les dispositions applicables dans les différents modes d'exploitation : en exploitation normale ou en crue. Ce cadre réglementaire est mis en œuvre par le Conseil Départemental du Gard.

Selon les dispositions prévues dans la consigne d'exploitation en crue, l'état de crue est déclaré par le Conseil Départemental du Gard lorsque certains critères de montée rapide du plan d'eau sont atteints ; il est précédé d'un état de veille météorologique qui permet de préparer l'ouvrage au passage de la crue, de mobiliser le personnel nécessaire.

FONCTIONNEMENT DE L'EXPLOITATION

Le débit restitué est défini dans le Règlement d'Eau selon 3 périodes :

- Période estivale : entre le 1er juin et le 15 septembre, la retenue est pleine (227 mNGF) et le barrage est transparent ;
- Période de soutien d'étiage : entre le 16 septembre et le 1er octobre, avec une cote minimale à respecter de 220,5 mNGF. Cette période peut démarrer avant le 15 septembre dans le cas où la retenue de Sainte Cécile d'Andorge a atteint la valeur de 235 mNGF et après accord préalable du service chargé de la police de l'eau. Si elle devait débuter fin août, l'avis du comité de suivi du soutien d'étiage sera sollicité ainsi que celui du responsable de la base nautique des Cambous.
- Période normale : à partir du 2 octobre avec une cote minimale de 220,5 mNGF à respecter.



La retenue des Cambous se remplit dès que celle de Sainte Cécile d'Andorge a retrouvé sa cote normale d'exploitation (242 mNGF), puis reste transparente par la suite.

0.2.2 La surveillance

La surveillance de l'état et du comportement du barrage est au centre de la politique de maintenance des ouvrages de l'Exploitant. L'entretien régulier des ouvrages permet d'en assurer et améliorer le fonctionnement.

La consigne de surveillance, transmise à l'administration de contrôle, formalise les dispositions prises pour la surveillance de l'ouvrage. Des tournées de surveillance courantes sont réalisées selon une périodicité rapprochée, tandis que des visites plus poussées, en présence de spécialistes, sont réalisées annuellement. Les mesures réalisées pour l'auscultation de l'ouvrage font l'objet d'analyse en temps réel à plusieurs niveaux et sont synthétisées dans un rapport annuel formalisé qui porte un jugement sur le comportement du barrage.

Les éventuelles anomalies détectées et confirmées au cours des actions de surveillance sont corrigées par des opérations de maintenance ; si besoin, des mesures compensatoires temporaires (augmentation de la fréquence des tournées d'inspection visuelle ou actions de maintenance,...), peuvent être prises après analyse de risques.

0.3 LES BILANS : CONCEPTION, COMPORTEMENT ET ETAT DU BARRAGE

0.3.1 Le barrage

STABILITE

Une actualisation de l'étude de stabilité de l'ouvrage a été menée en 2021. Les conclusions de cette étude attestent que :

- Une rehausse des culées n'est pas nécessaire ;
- La stabilité des coins rocheux des massifs de butées est assurée ;
- Le glissement de la culée en rive droite n'est pas envisagé compte tenu de son blocage au rocher. En rive gauche le glissement est difficilement envisageable du fait qu'il nécessiterait un cisaillement du béton de la culée ou du rocher ;
- Les calculs des plots centraux révèlent une marge de sécurité limitée.

Cependant, les calculs sont jugés conservatifs :

- simplification du maillage du modèle de calcul ;
- aucun signe d'insuffisance de résistance n'est relevé (pas de fissuration, pas de déplacement relatif aux joints interplots) alors même que le barrage a déjà vécu de manière certaine des hivers froids.

La stabilité de l'ouvrage a été évaluée en tenant compte du comportement récent de l'ouvrage et de certains états limites actuellement pris en considération (recommandations du Comité Français des barrages et Réservoirs (CFBR), Arrêté Technique Barrage (ATB)).

Une analyse du risque d'érosion au pied aval de l'ouvrage a également été menée en 2021. Il en ressort :



- Pour la rive droite : la nécessité de mettre en œuvre une protection de la fosse afin de limiter les risques d'affouillement et d'écartier tout risque d'évolution négative sur la reprise des efforts des plots centraux de la voûte. Cette protection viendrait compléter la protection déjà existante en rive gauche ;
- Pour la rive gauche : la nécessité de mettre en œuvre un confortement du tapis de protection déjà existant.

ÉTAT

Les différentes visites techniques annuelles ainsi que l'examen exhaustif des parties impactées par les futurs travaux témoignent d'un bon état général sans défauts structurels majeurs.

COMPORTEMENT

Déplacements

L'analyse des déplacements de l'ouvrage montre que le comportement mécanique de l'ouvrage est bon. Il n'est pas décelé d'anomalie ou de phénomène pouvant à terme remettre en cause la stabilité de l'ouvrage. Les différents appareils d'auscultation donnent des mesures cohérentes entre elles.

Comportement hydraulique

Le comportement hydraulique du barrage des Cambous est globalement bon.

0.3.2 Cote de dangers de l'ouvrage

La cote de danger, intrinsèque à l'ouvrage, est la cote de retenue au-dessus de laquelle la stabilité de l'ouvrage n'est plus garantie.

Pour le barrage des Cambous, cette cote de danger n'est pas dictée par le calcul de stabilité intrinsèque de l'ouvrage mais par le risque de surverse pouvant engendrer une érosion du pied aval. Cette surverse correspond à l'atteinte par la retenue d'un niveau supérieur à la cote des culées. L'arase supérieure des culées est calée à un niveau de 231.10 m NGF.

Ainsi, la cote de danger du barrage des Cambous est prise égale à 231.10 m NGF.

0.4 EXPOSITION DU BARRAGE AUX ALEAS NATURELS

0.4.1 Hydrologie des crues

Avec le nouvel évacuateur de crue sur le barrage de Sainte Cécile d'Andorge, la crue de période de retour 1 000 ans, présentée dans la dernière modélisation hydraulique 3D menée par ISL Ingénierie en 2014 a un débit de pointe de $Q_{\text{pointe}} = 1080 \text{ m}^3/\text{s}$ (égal au débit en sortie du barrage de Sainte Cécile). Sous ces conditions, la cote des PHE a été recalculée et a abouti à retenir la cote de 230.40 m NGF.

L'atteinte de la cote de danger (231.10 m NGF) correspondrait à une crue de période de retour de 3000 ans.



0.4.2 Sismicité

Selon le décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 modifié le 1er mai 2001, l'ouvrage se situe en zone de sismicité faible (zone de sismicité 2).

Pour ce type de barrage (barrage voute de classe A) situé dans cette zone d'aléa sismique, la réglementation n'impose pas de justification de la tenue de l'ouvrage aux sollicitations sismiques.

0.4.3 Glissement de terrain dans la retenue et création de vague isolée

Sur la base d'une analyse de terrain basée sur la géologie et la morphologie des versants, ainsi que sur la surveillance menée par l'exploitant, la probabilité de survenue d'un mouvement de terrain pouvant induire une vague impactant le barrage est considérée comme nulle.

0.4.4 Vent

Le vent est susceptible de générer une houle. Il a été vérifié que la cote obtenue dans ces conditions dépasse de 11cm la cote des culées. Ce dépassement est toutefois à nuancer puisque qu'il correspond davantage à un franchissement non continu de petites vagues plutôt qu'à une réelle surverse au-dessus de l'ouvrage. Par ailleurs, les appuis du barrage dans cette zone sont constitués par du rocher.

La revanche existante de l'ouvrage a par conséquent été jugée suffisante et l'ouvrage non sensible à cet aléa.

0.4.5 Gel

Le gel n'est pas un aléa courant sur le site du barrage des Cambous. Aucun épisode significatif de gel n'a été relevé depuis la mise en eau de l'ouvrage. La typologie d'ouvrage « voute déversante » permet de ne pas considérer cet aléa dans l'analyse de risque.

0.4.6 Foudre

Le risque de foudroiement est considéré comme peu impactant pour le barrage du fait que :

- Les organes de vantellerie ne sont pas utilisés pour faire transiter les débits de crues ;
- Une panne du système de manœuvre électrique peut être gérée par une manœuvre manuelle de la vanne hors service au moyen des volants de manœuvre, les moteurs étant débrayables ;
- Il est prévu d'installer un parafoudre en tête de l'installation de l'alimentation électrique du barrage durant les travaux.

0.4.7 Engrèvement

Le dernier relevé bathymétrique de l'exploitant ne montrait pas d'évolution majeure du niveau d'envasement à l'amont du barrage.

Une inspection subaquatique de l'entonnement amont est prévue en 2022 dans le cadre du Diagnostic Exhaustif de l'ouvrage (actualisation décennale de l'EDD). Elle permettra de confirmer ce point.

A noter que les travaux du projet de sécurisation n'impactent pas ce point en particulier.



0.4.8 Embâcles

Compte tenu du caractère boisé du bassin versant, une crue majeure est susceptible de générer d'importantes quantités d'embâcles. Néanmoins, aucun obstacle n'empêcherait les embâcles de surverser par-dessus le barrage. Seul un amas de bois enchevêtrés pourrait bloquer devant le barrage pour des hauteurs de tirant d'eau faible. Mais une fois les hauteurs de surverse supérieures à 2 m environ, il serait emporté.

0.4.9 Feu de forêt

L'aléa feu sur le site du barrage et sur le versant amont est considéré comme « modéré » à « élevé ».

0.5 ANALYSE DE RISQUES

0.5.1 La méthode d'analyse employée

L'analyse de risque de la présente étude de dangers a été réalisée suivant la méthodologie suivante :

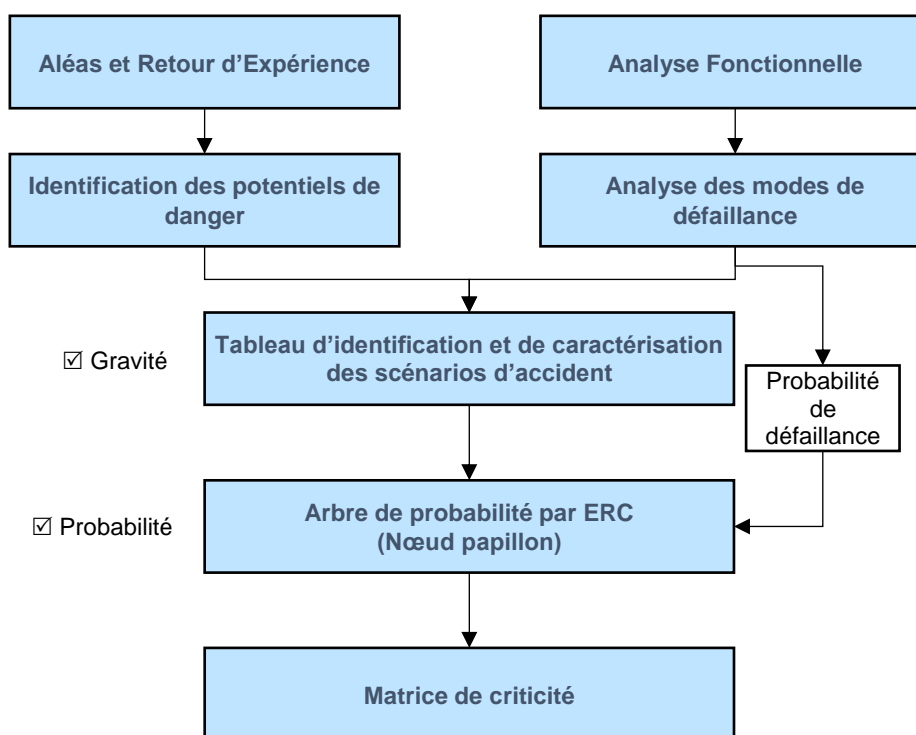


Figure 5 : Méthodologie de la présente analyse de risque

À partir de l'analyse des aléas et du retour d'expérience, on identifie les potentiels de danger pour l'ouvrage. C'est à partir de ces derniers que sont établis les Événements Redoutés Centraux (ERC), sur lesquels s'articule l'analyse de risque.



En parallèle, une analyse fonctionnelle puis une analyse des modes de défaillance ont été menées. L'analyse fonctionnelle consiste à décomposer structurellement l'ouvrage en éléments et sous-éléments puis à donner les fonctions assurées par chacun de ces derniers. L'analyse des modes de défaillance consiste à déterminer les causes probables d'une perte de fonction de chaque élément, et à en attribuer une probabilité d'occurrence.

On dresse alors le tableau d'identification et de caractérisation des scénarios d'accident, qui donne, pour chaque Évènement Redouté Central (ERC), ses causes, appelés Évènements Initiateurs (EI), et ses conséquences, appelés Phénomènes Dangereux (PhD), dont on donne la gravité selon la grille suivante :

Tableau 2 : Grille de gravité utilisée dans cette EDD pour les évènements extrêmes

Classes de gravité des conséquences (par ordre décroissant)	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique très rapide	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique rapide	Nombre de personnes exposées en zone à cinétique lente
5. Catastrophique	≥ 100	≥ 1000	≥ 10000
4. Important	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1000	≥ 1000 et < 10000
3. Sérieux	≥ 1 et < 10	≥ 10 et < 100	≥ 100 et < 1000
2. Modéré	0	≥ 1 et <10	≥ 10 et <100
1. Faible	0	0	≥ 1 et <10

À partir de ce tableau, on réalise pour chaque scénario d'accident un diagramme papillon, permettant de calculer sa probabilité d'occurrence.

L'évaluation de la gravité d'un événement est établie en évaluant le nombre de personnes potentiellement impactées, nombre estimé à partir des données INSEE et en analysant les conditions d'occupation des sols issus de la base de données Corine Land Cover.

Enfin, la probabilité d'occurrence et la gravité de chaque scénario permettent de le positionner dans une matrice de criticité. Suivant la position du scénario, il est préconisé ou non des mesures de réduction ou de maîtrise des risques.

	<i>Evènement possible mais extrêmement peu probable</i>	<i>Evènement très improbable</i>	<i>Evènement improbable</i>	<i>Evènement probable</i>	<i>Evènement courant</i>
	1 10 ⁻⁴	2 10 ⁻³	3 10 ⁻²	4 10 ⁻¹	5
5 - Catastrophique					
4 - Important					
3 - Sérieux					
2 - Modéré					
1 - Faible					

Figure 6 : Modèle de matrice de criticité utilisé dans la présente étude de dangers (état conforté)



0.5.2 Les Évènements Redoutés Centraux (ERC) et Phénomènes Dangereux (PhD)

0.5.2.1 Listing des ERC

Lors de l'Étude de Dangers initiale de 2012, l'analyse des potentiels de dangers avait permis d'identifier les ERC suivants :

Tableau 3 : Liste des évènements redoutés centraux (ERC) retenus pour l'étude de dangers 2022 du barrage des Cambous

DESIGNATION	ÉVÈNEMENT REDOUTE CENTRAL
ERC1	Rupture structurelle du barrage
- ERC1.1	Rupture du barrage due à un sous-dimensionnement
- ERC1.2	Rupture par modification des sollicitations
- ERC1.3	Rupture par une crue importante survenant lors d'une défaillance de l'évacuateur de crue (hors sous-dimensionnement)
- ERC1.4	Rupture structurelle de l'ouvrage en raison des matériaux
- ERC1.5	Rupture par une vague générée par un glissement de terrain dans la retenue
ERC2	Glissement/Renversement du corps du barrage sur ses appuis/fondations
- ERC2.1	Glissement/Renversement du barrage sur une fondation et des appuis défectueux
- ERC2.2	Glissement/Renversement par modification des sollicitations
- ERC2.3	Glissement/Renversement du barrage sur une érosion du pied aval du barrage
ERC3	Dysfonctionnement du dispositif de vidange
- ERC3.1	Barreaudage béton de l'ouvrage de vidange obturé
- ERC3.2	Vanne de vidange bloquée fermée
- ERC3.3	Dispositif de vidange maintenu ouvert
ERC4	Dysfonctionnement du dispositif de restitution
- ERC4.1	Vanne de restitution bloquée fermée
- ERC4.2	Dispositif de restitution maintenu ouvert
ERC5	Inondation de la galerie
- ERC5.1	Infiltrations importantes dans la galerie
- ERC5.2	Non-fermeture de la porte de la pile en cas de fortes crues

Les scénarios d'accidents liés à un ERC donné **et que les travaux de sécurisation vont impacter** ont été recensés (en vert ci-dessus) et réactualisés dans le cadre de la présente Étude de Dangers.

0.5.2.2 Présentation des ERC

ERC1 : RUPTURE STRUCTURELLE DU BARRAGE DES CAMBOUS

Plusieurs scénarios de défaillances menant à la rupture structurelle du barrage des Cambous et à la libération non contrôlée de l'intégralité du volume de la retenue ont été identifiés et analysés dans l'EDD initiale de 2012. Parmi eux, un scénario ressort comme impacté par les travaux du projet de sécurisation :

- **La rupture par modification des sollicitations (ERC1.2)** qui peut être liée à une crue supérieure à la crue extrême de période de retour 3000 ans.



Cet évènement a une gravité classée comme catastrophique vis-à-vis de la population située en aval. En effet, ce scénario conduit à la libération rapide de la totalité du volume de la retenue, sans possibilité d'arrêter l'écoulement.

L'ERC1.2 est classé comme « évènement très improbable ».

ERC2 : GLISSEMENT/RENVERSEMENT DU CORPS DU BARRAGE SUR SES APPUIS/FONDACTIONS

Plusieurs scénarios de défaillances menant au glissement/renversement du corps du barrage sur ses appuis/fondations et à la libération non contrôlée de l'intégralité du volume de la retenue ont été identifiés et analysés dans l'EDD initiale de 2012. Parmi eux, trois scénarios ressortent comme impactés par les travaux du projet de sécurisation :

- **La rupture par glissement/renversement dû à une fondation et des appuis défectueux (ERC2.1) ;**
- **La rupture par glissement/renversement par modification des sollicitations (ERC2.2) ;**
- **La rupture par glissement/renversement dû à une érosion du pied aval du barrage (ERC2.3) :**
 - **ERC2.3a : érosion du pied aval situé sous le seuil déversant ;**
 - **ERC2.3b : érosion du pied aval situé à l'aval des culées.**

Avec pour origine dans chaque cas, une sollicitation trop importante de l'ouvrage par surverse (cru >> crue de période de retour 3000 ans) ; excepté pour l'ERC2.3a qui découle d'une combinaison d'une crue >> crue de période de retour 1000 ans et d'un vieillissement du béton du nouveau tapis de protection.

Ces évènements ont une gravité classée comme catastrophique vis-à-vis de la population située en aval. En effet, chacun des scénarios conduit à la libération rapide de la totalité du volume de la retenue, sans possibilité d'arrêter l'écoulement.

Les ERC2.1, ERC2.2 et ERC2.3b sont classés comme « évènement très improbable ».

L'ERC2.3a est classé comme « possible mais extrêmement peu probable ».

ERC3 : DYSFONCTIONNEMENT DU DISPOSITIF DE VIDANGE

Plusieurs scénarios de défaillances menant au dysfonctionnement du dispositif de vidange du barrage des Cambous ont été identifiés et analysés dans l'EDD initiale de 2012. Parmi eux, un scénario ressort comme impacté par les travaux du projet de sécurisation :

- Le dispositif de vidange maintenu ouvert (ERC3.3)

Cet évènement a une gravité classée comme faible vis-à-vis de la population située en aval. En effet, ce scénario conduit à la libération lente de la totalité du volume de la retenue, pour un débit maximal de 4m³/s.

L'ERC3.3 est classé comme « évènement très improbable ».

0.5.2.3 Criticité des ERC

Les scénarios accidentels identifiés précédemment et caractérisés par leur probabilité et leur gravité sont positionnés dans une **matrice de criticité**, comportant en abscisse la probabilité d'occurrence, et en ordonnée la gravité de l'évènement.



La matrice de criticité des ERC de cette étude de danger est la suivante :

	<i>Evènement possible mais extrêmement peu probable</i>	<i>Evènement très improbable</i>	<i>Evènement improbable</i>	<i>Evènement probable</i>	<i>Evènement courant</i>
	<i>E</i>	<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
5 - Catastrophique	ERC2.3a	ERC 1.2 ERC 2.1 ERC2.2 ERC 2.3b			
4 - Important					
3 - Sérieux					
2 - Modéré					
1 - Faible		ERC 3.3			

Figure 7 : Matrice de criticité – Classification des scénarios (état conforté)

0.6 MESURES DE REDUCTION DES RISQUES

0.6.1 Mesures de réduction des risques

Le projet de sécurisation du complexe hydraulique formé par les barrages de Sainte Cécile d'Andorge et des Cambous va modifier de façon majeure les deux ouvrages tant en termes structurel, d'exploitation et d'auscultation.

Les hypothèses hydrauliques vont également évoluer. Ces évolutions, en grande partie à la hausse du fait de l'augmentation de la capacité d'évacuation hydraulique du futur évacuateur de crues de Sainte Cécile d'Andorge, ont nécessité de revérifier la stabilité du barrage des Cambous, au regard des nouveaux critères imposés réglementairement par l'Arrêté Technique Barrage (2018).

Ces justifications structurelles sont en conformité avec les exigences réglementaires. La stabilité du barrage ayant même été justifiée pour une crue de période de retour 3 000 ans (en lieu et place de 1000 ans imposée par l'arrêté).

Le projet de sécurisation a ainsi permis de faire évoluer certains scénarios de l'EDD initiale de 2012 de la zone rouge en zone orange.

Ces scénarios n'ont pu atteindre la zone verte de sûreté maximale classiquement recherchée en première approche pour cause d'une probabilité d'occurrence encore légèrement supérieur au seuil critique de 10^{-5} .

Néanmoins, et comme évoqué ci-avant, le projet de sécurisation du barrage respecte l'ensemble des critères fixés par l'ATB.

Après concertation et validation de cet état de fait par la Maîtrise d'ouvrage, il a été acté qu'aucune mesure de réduction de risque complémentaire n'était par conséquent envisagée.



0.6.2 Mesures d'amélioration et de maîtrise du risque

Sont présentées ci-après des recommandations d'amélioration dans un objectif de maîtriser les risques et fiabiliser le niveau de sûreté.

MMR-01 : REACTUALISATION DE LA POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS - SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE (PPAM – SGS)

- **Action** : Réactualiser le PPAM-SGS actuel au sens attendu par les textes réglementaires ;
- **Objectif** : Organiser de manière formelle l'implication du maître d'ouvrage dans le suivi de l'exploitation en y associant les démarches de contrôle et leurs audits ;

MMR-02 : AMELIORATION DU RETOUR D'EXPERIENCE D'EXPLOITATION SUR LA GESTION DES CRUES

MMR-02-A : Retour d'expérience de l'exploitant – Complément d'informations

- **Action** : En complément de l'édition des rapports de crue et des déclarations de PSH / EISH, qui ont initié un travail de valorisation du retour d'expérience acquis par l'exploitant, il est proposé d'améliorer et/ou compléter cette pérennisation du retour d'expérience de l'exploitant, notamment vis-à-vis de la gestion des crues. Ce processus doit intégrer :
 - La collecte des informations élargie aux actions d'exploitation : manœuvre de vannes, ... ;
 - Leur synthèse ;
 - Leur analyse ;
 - La gestion et le fonctionnement de l'astreinte au cours de l'évènement ;
 - La gestion d'évènements qui surviendraient concomitamment sur le barrage de Sainte Cécile d'Andorge environnant et le barrage des Cambous ;
 - Les actions pour pérenniser l'acquis.

La rédaction d'un bilan annuel est préconisée.

- **Objectif** : Analyser la maîtrise de la gestion des évènements et identifier d'éventuels axes d'amélioration, de formation...

MMR-02-B : Actualisation des programmes de formation de l'exploitant et formalisation d'exercices de mises en situation

- **Action** : **Actualiser** les programmes de formation suivis par l'exploitant et **formaliser** la réalisation d'exercices de mise en situation ou d'application de nouveaux outils ;

Ces formations et exercices doivent notamment porter sur les volets qui seraient impactés par les travaux :

- Manipulation des nouveaux équipements de surveillance et d'auscultation ;
- Organisation et gestion des organes hydrauliques ;
- Utilisation des nouveaux outils de surveillance (fichiers de saisie et de pré-analyse des données) ;
- Adéquation et conformité aux nouvelles consignes, ... ;

Ils doivent être formalisés par la rédaction d'un rapport.

- **Objectif** : Analyser la maîtrise de la gestion des nouveaux équipements et identifier d'éventuels axes d'amélioration, de formation...
- **Commentaires** : Les travaux de sécurisation prévus sur les barrages de Sainte Cécile d'Andorge et des Cambous vont profondément modifier la routine d'exploitation de ces ouvrages. Un accompagnement des acteurs de terrain est nécessaire afin d'envisager une continuité d'exploitation la plus optimale possible ;



0.7 CARTOGRAPHIE

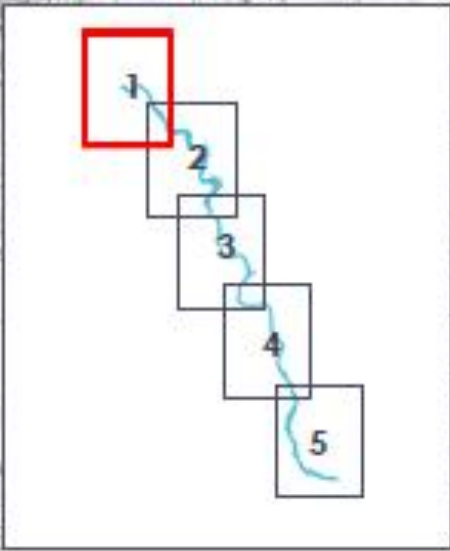
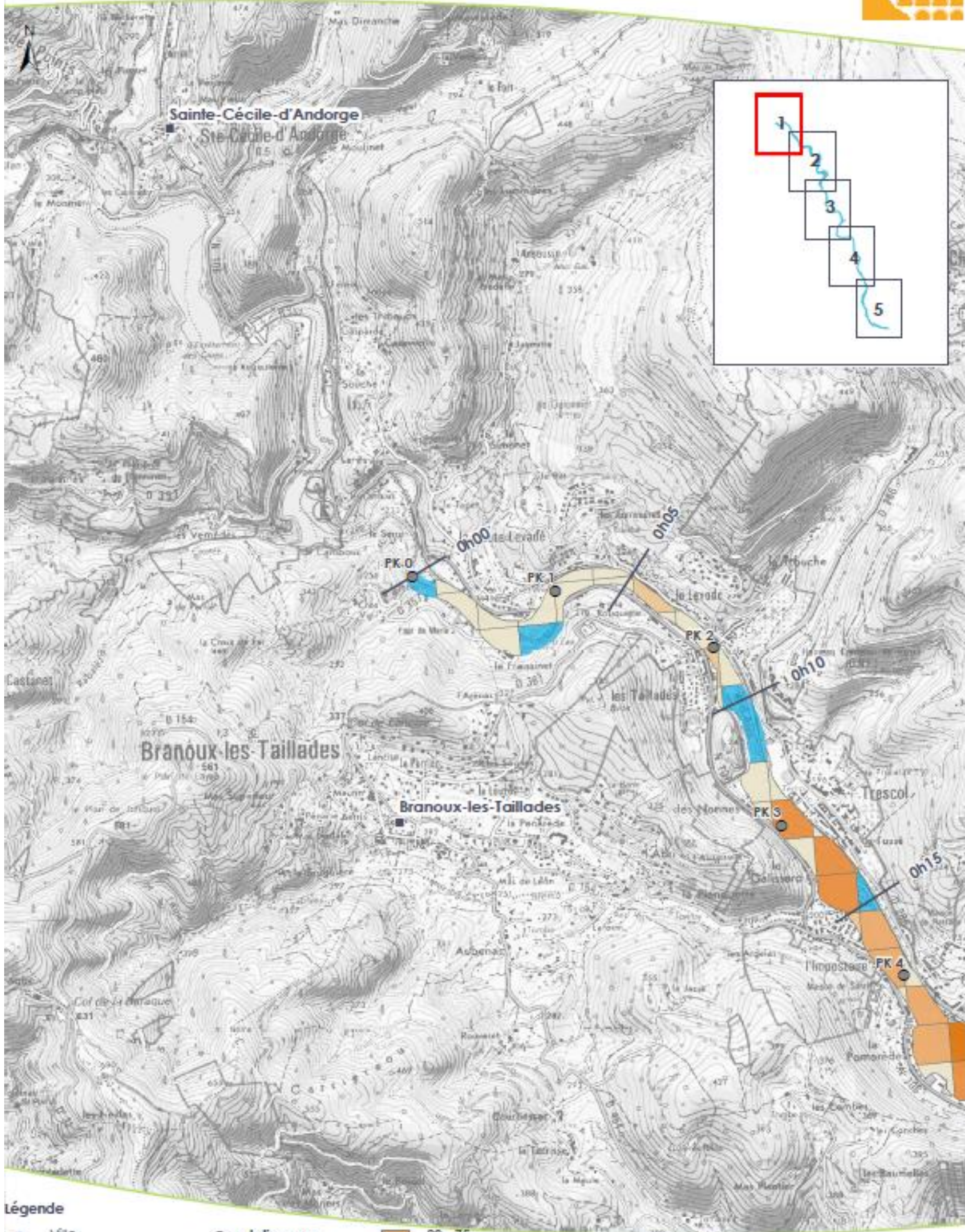
Les cartes ci-après synthétisent l'enveloppe de l'onde générée par la rupture totale du barrage des Cambous, précisant les temps d'arrivée de l'onde et la population impactée.

Pour rappel, les scénarios menant à cette rupture sont liés aux ERC 1 (rupture structurelle du barrage) et ERC 2 (glissement/renversement du corps du barrage sur ses appuis/fondations) présentés au §0.5.2.

Pour ces scénarios, le nombre de personnes impactées par l'onde de submersion est de 3 552 au total.

LIMITE DE ZONE
DE SUBMERSION PAR L'ONDE
DE RUPTURE DU BARRAGE

Population selon l'INSEE
Carte n°1



Légende

- Ville
 - PK
 - Temps d'arrivée de l'onde de submersion
 - Onde de Submersion
- | | |
|-----------------------|-----------------|
| Population par | 30 - 75 |
| carreaux INSEE | 75 - 150 |
| ■ 0 - 10 | ■ 150 - 220 |
| ■ 10 - 30 | |

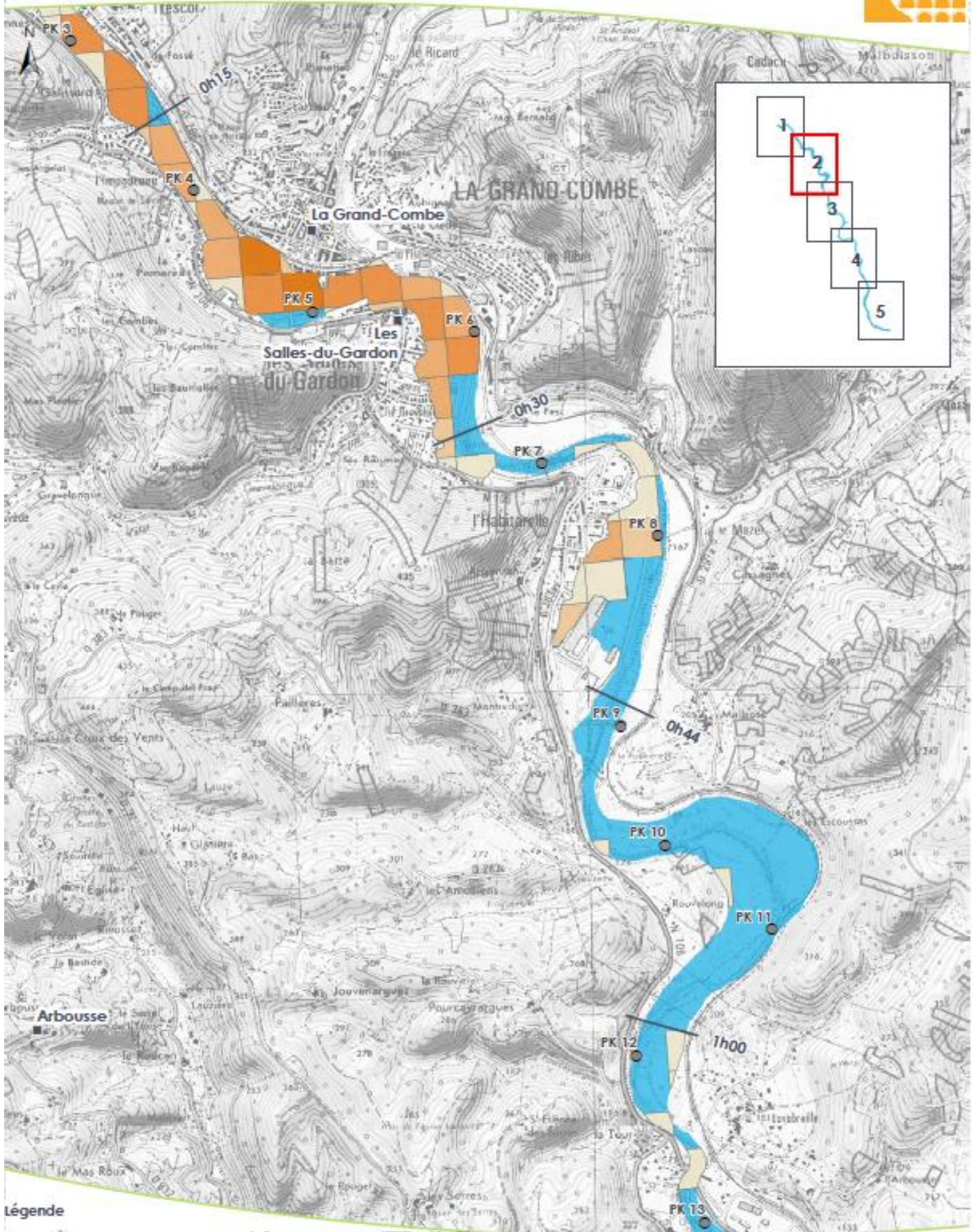
Sources : INSEE, IGN, BRL
 Ref : 02_Pop_A4.mxd
 Format : A4
 Projection : RGF 1993 Lambert 93
 Date : 16/03/2022





LIMITE DE ZONE DE SUBMERSION PAR L'ONDE DE RUPTURE DU BARRAGE

**Population selon l'INSEE
Carte n°2**



Légende

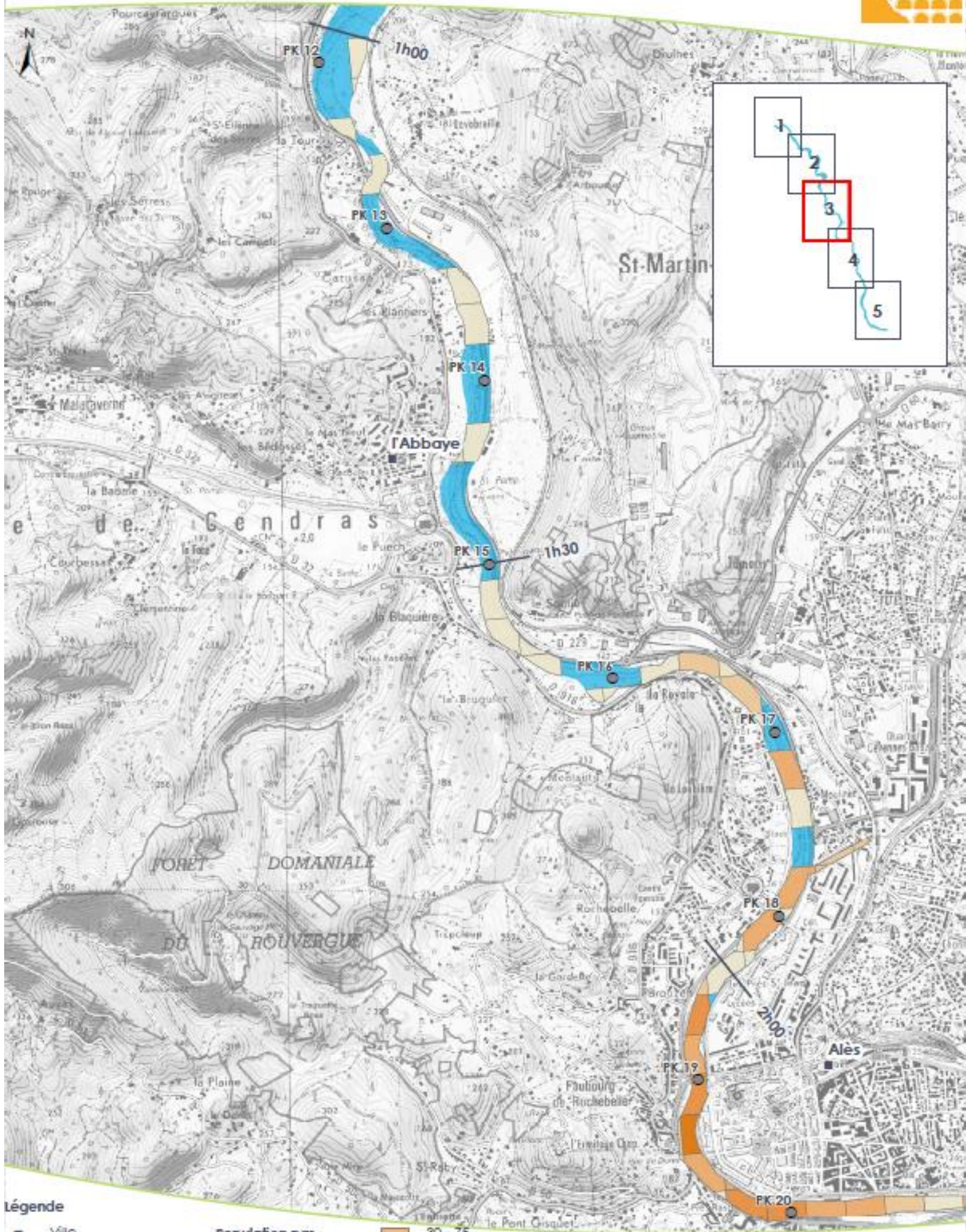
- Ville
 - PK
 - Temps d'arrivée de l'onde de submersion
 - Onde de Submersion
- | | |
|--------------------------------------|-----------|
| Population par carreaux INSEE | 30 - 75 |
| 0 - 10 | 75 - 150 |
| 10 - 30 | 150 - 220 |

Sources : INSEE, IGN, BRL
 Ref : 02_Pop_A4.mxd
 Format : A4
 Projection : RGF 1993 Lambert 93
 Date 16/03/2022



**LIMITE DE ZONE
DE SUBMERSION PAR L'ONDE
DE RUPTURE DU BARRAGE**

**Population selon l'INSEE
Carte n°3**



Légende

■ Ville	● PK	— Temps d'arrivée de l'onde de submersion	■ Onde de Submersion
Population par carreaux INSEE		■ 30 - 75	■ 75 - 150
■ 0 - 10		■ 10 - 30	■ 150 - 220

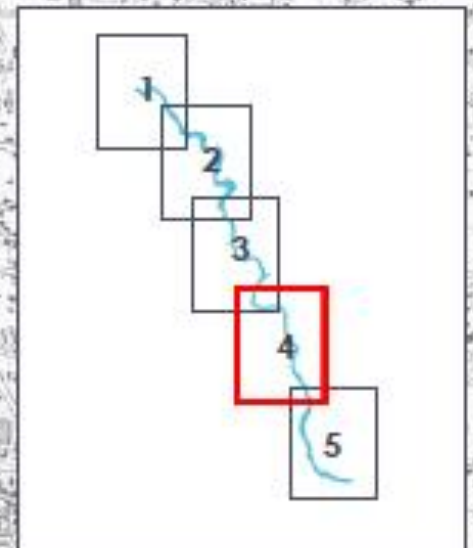
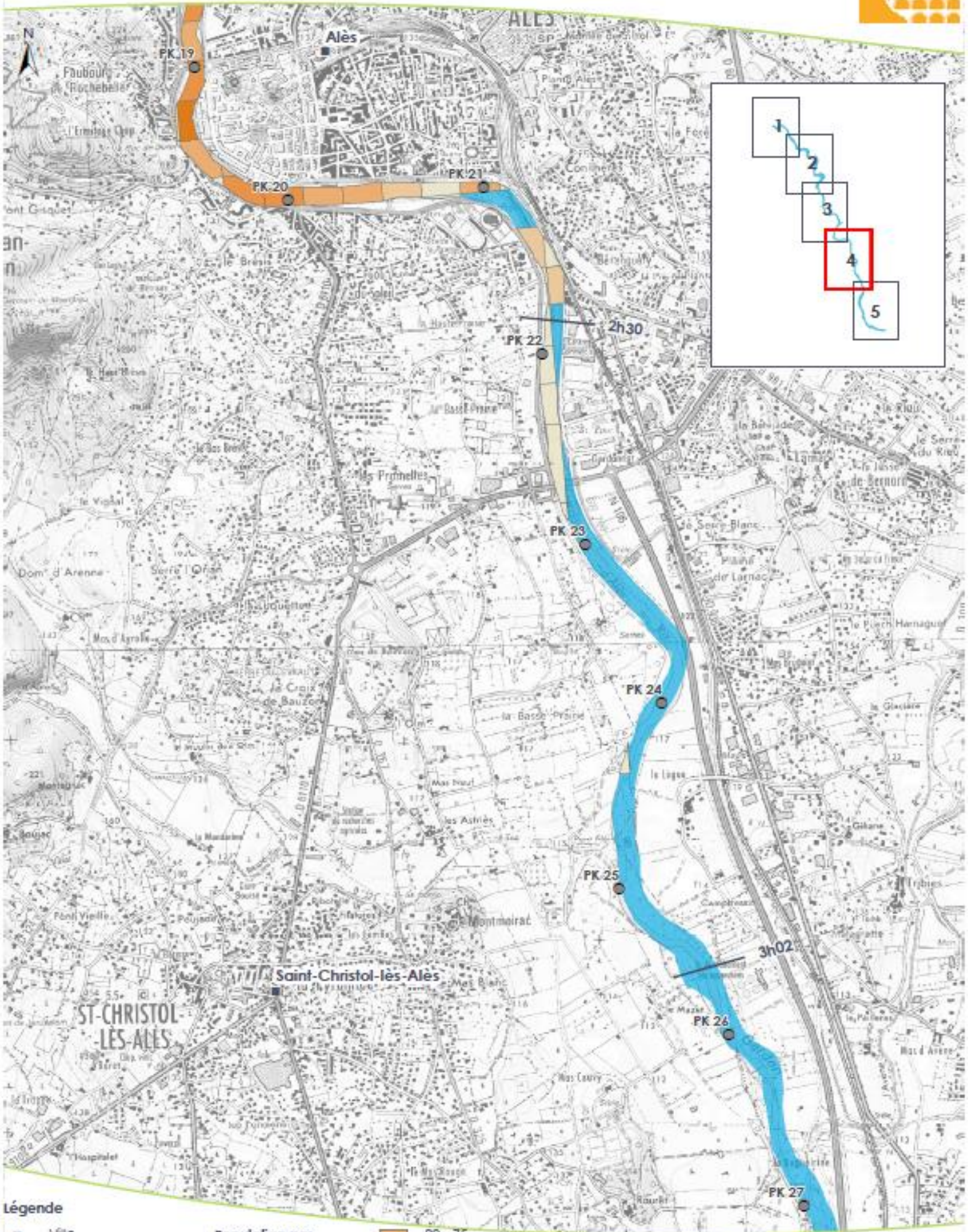
Sources : INSEE, IGN, BRL
 Ref : 02_Pop_A4.mxd
 Format : A4
 Projection : RGF 1993 Lambert 93
 Date 16/03/2022





LIMITE DE ZONE DE SUBMERSION PAR L'ONDE DE RUPTURE DU BARRAGE

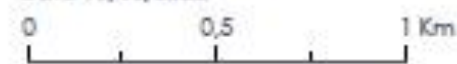
**Population selon l'INSEE
Carte n°4**



Légende

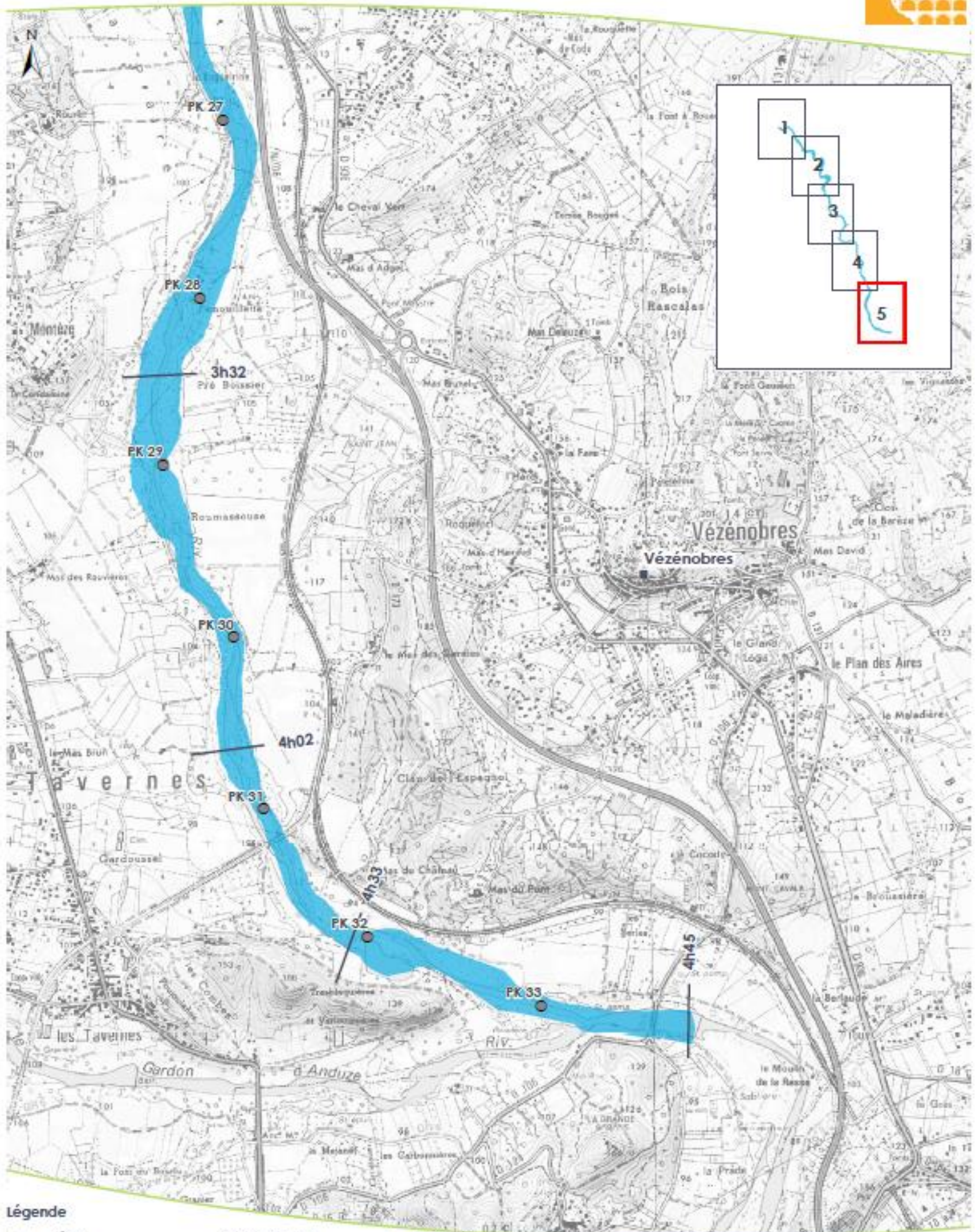
- Ville
 - PK
 - Temps d'arrivée de l'onde de submersion
 - Onde de Submersion
- | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|---------|---------|----------|-----------|
| Population par carreaux INSEE | 0 - 10 | 10 - 30 | 30 - 75 | 75 - 150 | 150 - 220 |
|--------------------------------------|--------|---------|---------|----------|-----------|

Sources : INSEE, IGN, BRL
 Ref : 02_Pop_A4.mxd
 Format : A4
 Projection : RGF 1993 Lambert 93
 Date 16/03/2022



**LIMITE DE ZONE
DE SUBMERSION PAR L'ONDE
DE RUPTURE DU BARRAGE**

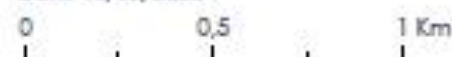
**Population selon l'INSEE
Carte n°5**



Légende

- Ville
 - PK
 - Temps d'arrivée de l'onde de submersion
 - Onde de Submersion
- | | | | | | |
|--|----------|-----------|-----------|------------|-------------|
| Population par
carrés INSEE | ■ 0 - 10 | ■ 10 - 30 | ■ 30 - 75 | ■ 75 - 150 | ■ 150 - 220 |
|--|----------|-----------|-----------|------------|-------------|

Sources : INSEE, IGN, BRL
 Ref : 02_Pop_A4.mxd
 Format : A4
 Projection : RGF 1993 Lambert 93
 Date 16/03/2022



SECURISATION DU COMPLEXE HYDRAULIQUE FORME PAR LES BARRAGES DE SAINTE CECILE D'ANDORGE ET DES CAMBOUS

Barrage des Cambous

Mise à jour de l'Etude de Dangers en vigueur



Indice D – Juin 2023

	<p>Maîtres d'œuvre BRL ingénierie 1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5</p>
	<p>ISL Ingénierie SAS – MONTPELLIER 65 rue Clément Ader 34170 - Castelnau-le-Lez</p>
 <p><small>MEDiterranée, Infrastructure, Aménagement, et Eau</small></p>	<p>MEDIAE ZAC de la Petite Camargue, 352 chemin des Oliviers 34400 LUNEL</p>
	<p>Maître d'ouvrage Conseil Départemental du Gard Direction de l'Eau et de la Valorisation du Patrimoine Naturel 3 rue Guillemette 30044 Nîmes Cedex 9</p>

Date du document	04/01/2022
Contact	Julien VANWARREGHEM

Titre du document	Sécurisation du complexe hydraulique formé par les barrages de Sainte Cécile d'Andorge et des Cambous – Barrage des Cambous – Mise à jour de l'Etude de Dangers en vigueur
Référence du document :	A00593_CAM_EDD_indD
Indice :	D

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérfié et Validé par
18/03/2022	A	Première version	Alexandre DORADOUX Hayate TIGRA	Akim SALMI Julien VANWARREGHEM
25/04/2022	B	Prise en compte remarques AMO	Alexandre DORADOUX	Julien VANWARREGHEM
20/06/2022	C	Prise en compte remarques MOA	Alexandre DORADOUX	Julien VANWARREGHEM
02/06/2023	D	Prise en compte remarques AMO et DREAL	Alexandre DORADOUX	Julien VANWARREGHEM

SECURISATION DU COMPLEXE HYDRAULIQUE FORME PAR LES BARRAGES DE SAINTE CECILE D'ANDORGE ET DES CAMBOUS

Barrage des Cambous

Mise à jour de l'Etude de Dangers (EDD)

1	RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS	15
1.1	PROPRIETAIRE, EXPLOITANT ET SERVICE DE CONTROLE EN CHARGE DU BARRAGE	15
1.2	ORGANISME AGREE EN CHARGE DE L'ETUDE DE DANGERS	16
1.3	REDACTEURS DU DOSSIER	16
1.4	CLASSEMENT DE L'OUVRAGE	16
1.5	CADRE ADMINISTRATIF DE L'ETUDE DE DANGERS	18
2	OBJET DE L'ÉTUDE.....	19
2.1	ARTICULATION AVEC LES AUTRES EXIGENCES	19
2.2	PERIMETRE DE L'OUVRAGE	19
2.3	DOCUMENTS DE REFERENCE	19
3	ANALYSE FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE ET DE SON ENVIRONNEMENT.....	22
3.1	DESCRIPTION DE L'OUVRAGE	22
3.1.1	Localisation et description de l'ouvrage	22
3.1.2	Description du génie civil.....	24
3.1.2.1	Caractéristiques.....	24
3.1.2.2	Seuil déversant.....	26
3.1.2.3	Chambre aval.....	27
3.1.2.4	Massif de butée rive droite.....	30
3.1.2.5	Fosses.....	31
3.1.2.5.1	Fosse aval rive gauche	31
3.1.2.5.2	Fosse aval rive droite	33
3.1.2.6	Reprise de divers désordres soulignés depuis la précédente EDD	33
3.1.3	Description des fondations.....	34
3.1.3.1	Géologie du site.....	34
3.1.3.2	Géologie de la fondation du barrage	35
3.1.3.3	Étanchéité des fondations.....	35
3.1.4	Description du système de drainage.....	36
3.1.5	Description de la vantellerie.....	40
3.1.5.1	Dispositif de restitution	40
3.1.5.2	Dispositif de vidange	43

3.1.6	Ouvrages annexes.....	46
3.1.6.1	Galerie de visite dans le barrage	46
3.1.6.2	Grappin de manutention	47
3.1.6.3	Eclairage.....	47
3.1.7	Description générale de l'alimentation électrique	47
3.1.8	Description générale du contrôle-commande.....	50
3.1.9	Description générale des télécommunications.....	51
3.1.10	Description du dispositif d'auscultation	52
3.1.10.1	Composition du dispositif.....	52
3.1.10.1.1	Surveillance du comportement hydraulique	52
3.1.10.1.2	Surveillance des déplacements et phénomènes géomécaniques	53
3.1.10.1.3	Surveillance topographique	56
3.1.10.2	Consignes de surveillance	56
3.1.11	Description du dispositif de mesure.....	57
3.1.12	Description de la retenue.....	58
3.1.13	Fonctionnement du barrage.....	59
3.1.13.1	Mode de fonctionnement en période d'exploitation normale.....	59
3.1.13.2	Différents états d'alerte de crue.....	60
3.1.13.3	En périodes de crue	63
3.1.13.4	En périodes de soutien d'étiage.....	64
3.2	ANALYSE FONCTIONNELLE INTERNE	65
3.2.1	Décomposition structurelle de l'ouvrage	66
3.2.1.1	Corps du barrage.....	66
3.2.1.2	Dispositif de vidange	67
3.2.1.3	Dispositif de restitution	68
3.2.2	Analyse fonctionnelle de l'ouvrage.....	69
3.3	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'OUVRAGE.....	75
3.3.1	Topographie de la retenue.....	75
3.3.2	Caractéristiques climatiques et hydrologiques du bassin versant	76
3.3.3	Voies d'accès à l'ouvrage.....	77
3.3.4	Barrage et retenue de Sainte Cécile d'Andorge	79
3.3.5	Enjeux de la zone amont.....	82
3.3.6	Enjeux de la zone aval.....	85
3.3.6.1	Zones d'activités et infrastructures	85
3.3.6.2	Zones d'habitations	87
3.3.6.3	Etablissements recevant du public (ERP)	88
3.3.6.4	Infrastructures de transport	88
3.4	ANALYSE FONCTIONNELLE EXTERNE	90
3.4.1	Fonctions principales	90
3.4.2	Fonctions contraintes	90
3.4.3	Diagramme d'analyse fonctionnelle.....	91
4	POLITIQUE DE PRÉVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS ET SYSTÈME DE GESTION DE LA SÉCURITÉ.....	93
4.1	TEXTES PARTICULIERS APPLICABLES.....	93
4.2	POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS (PPAM)	93
4.3	SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE (SGS).....	93

4.3.1	Organisation du maitre d'ouvrage.....	94
4.3.2	Consigne de surveillance en exploitation normale	98
4.3.2.1	Entretien courant	98
4.3.2.2	Essais des organes de sécurité	98
4.3.2.3	Visites de surveillance	100
4.3.2.4	Rapport de surveillance	101
4.3.2.5	Relevés d'auscultation	102
4.3.2.6	Rapport d'auscultation	105
4.3.2.7	Visites techniques approfondies VTA	105
4.3.2.8	Autres documents	107
4.3.3	Consignes de surveillance des ouvrages en état de veille.....	107
4.3.4	Consignes de surveillance des ouvrages en situation exceptionnelle et d'exploitation en crue.....	107
4.3.4.1	Anticipation des crues.....	107
4.3.4.2	Règle de gestion des organes hydrauliques en cas de crue.....	108
4.3.4.3	Etablissement du rapport de crue	108
4.3.4.4	Modalités de transmission des informations aux autorités compétentes	109
4.3.5	Procédures de surveillance lors d'évènements particuliers.....	109
4.3.6	Analyse des consignes et de la surveillance mise en place	110
4.3.7	Gestion du retour d'expérience	111
4.3.8	Respect des procédures et mise à jour du Système de Gestion de la Sécurité en continu	111
4.4	POINTS PARTICULIERS EN COURS DE TRAVAUX	112
4.4.1	Impacts sur l'exploitation	112
4.4.2	Gestion du risque en phase travaux	113
4.4.2.1	Abaissement partiel du plan d'eau	113
4.4.2.2	Analyse des risques de défaillance et des solutions préventives envisagées	115
4.4.2.3	Mise en place d'un merlon faisant office de batardeau	116
4.4.2.4	Gestion des crues et du risque de surverse.....	117
4.5	BILAN : POINTS SENSIBLES ET AXES D'AMELIORATIONS	117
5	DIAGNOSTIC EXHAUSTIF DE L'ÉTAT ET BILAN DE CONCEPTION, DE COMPORTEMENT ET D'ÉTAT DES OUVRAGES.....	120
5.1	DIAGNOSTIC EXHAUSTIF DU BARRAGE	120
5.1.1	Description de la démarche.....	120
5.1.1.1	Calendrier des opérations	120
5.1.1.2	Consistance des moyens spéciaux utilisés.....	122
5.1.1.3	Méthode de recueil et analyse des données	122
5.1.1.4	Conditions de réalisation de l'examen.....	122
5.1.2	Diagnostic par partie d'ouvrage	123
5.1.2.1	Massif de butée Rive Droite	123
5.1.2.2	Culées.....	124
5.1.2.3	Fosse aval.....	125
5.1.2.3.1	Fosse aval Rive Droite	125
5.1.2.3.2	Fosse aval Rive Gauche	125
5.1.2.4	Chambre aval.....	126

5.1.2.5	Ouvrage d'évacuation — Vannes et circuit de vidange.....	126
5.1.2.6	Ouvrage d'évacuation — Vannes et circuit de restitution.....	127
5.1.2.7	Dispositifs d'auscultation.....	128
5.2	BILAN DE CONCEPTION, DE COMPORTEMENT ET D'ETAT DES OUVRAGES	129
5.2.1	Conception initiale du barrage et des organes annexes, construction et travaux importants.....	129
5.2.2	Comportement de l'ouvrage.....	129
5.2.2.1	Comportement à la mise en eau.....	129
5.2.2.2	Comportement historique.....	129
5.2.2.3	Comportement récent.....	129
5.2.2.4	Conclusion sur le comportement de l'ouvrage.....	132
5.2.2.5	Optimisation du dispositif d'auscultation.....	133
5.2.3	Bilan d'état — Diagnostic par partie d'ouvrage.....	134
5.2.3.1	Génie Civil.....	134
5.2.3.2	Hydroélectromécanique.....	137
5.2.3.3	Dispositifs d'auscultation.....	139
5.2.4	Bilan de conception.....	140
5.2.4.1	Conformité à l'arrêté technique du 6 août 2018.....	140
5.2.4.1.1	Stabilité de l'ouvrage.....	140
5.2.4.1.2	Etude du Génie Civil de la future chambre aval.....	149
5.2.4.1.3	Tenue structurelle des éléments de vantellerie.....	151
5.2.4.1.4	Dispositif permettant d'évaluer les débits entrant et sortant.....	153
5.2.4.2	Analyse du risque d'érosion au pied aval de l'ouvrage.....	153
5.2.4.3	Cote de danger de l'ouvrage.....	155
5.2.4.4	Capacité d'abaissement de la charge hydraulique sur l'ouvrage.....	155
5.2.4.5	Analyse de la conception des organes de gestion des crues vis-à-vis du risque « embâcles »/ « engrèvement ».....	157
5.3	TABLEAU RECAPITULATIF DE CONFORMITE A L'ATB [REF 28]	158
6	CARACTÉRISATION DES ALÉAS NATURELS.....	159
6.1	CRUES.....	159
6.1.1	Révision de l'hydrologie 2014.....	159
6.1.1.1	Actualisation de l'étude hydrologique précédente.....	159
6.1.1.2	Evolution de la méthode Shypre.....	160
6.1.1.3	Actualisation du Gradex.....	160
6.1.1.4	Résultats de l'étude.....	160
6.1.2	Modélisation hydraulique 2014.....	161
6.2	SEISMES.....	162
6.2.1	Séisme pris en compte lors de l'étude initiale.....	162
6.2.2	Zonage sismique de la France — Décret n°2010-1255 du 22/10/10 modifié.....	162
6.2.3	Séisme d'Évaluation de la Sécurité (SES).....	164
6.2.4	Séismes d'importance significative s'étant produits sur le site de l'ouvrage ou l'ayant concerné.....	164
6.3	MOUVEMENTS DE TERRAIN DANS LA RETENUE.....	165
6.3.1	Etude de 2012.....	165
6.3.2	Conclusion.....	165

6.4	VENT	165
6.4.1	Vent de référence	165
6.4.2	Calcul de la revanche	167
6.5	TEMPERATURE	168
6.5.1	Station de mesure.....	169
6.5.2	Température de clavage	169
6.5.3	Température de l'air	169
6.5.4	Température de l'eau	170
6.6	AUTRES ALEAS NATURELS	171
6.6.1	Gel	171
6.6.2	Avalanche	171
6.6.3	Foudre.....	171
6.6.4	Engrèvement.....	172
6.6.5	Embâcles.....	172
6.6.6	Feu de forêt	172
7	ETUDE ACCIDENTOLOGIQUE ET RETOUR D'EXPERIENCE	174
7.1	ANALYSE HISTORIQUE DES DEFAILLANCES DE BARRAGE EN BETON	174
7.1.1	Conclusions générales sur les accidents et ruptures de barrages en béton.....	174
7.1.2	Exemples d'accidents sur des ouvrages présentant des similarités avec le barrage des Cambous	175
7.1.3	Principale pathologie des barrages voûtes : gonflement dans les bétons de masse ...	177
7.1.4	Vulnérabilité des barrages voûte aux séismes	179
7.1.4.1	Effets des séismes sur les barrages voûte	179
7.1.4.2	Effet des séismes sur les ouvrages annexes	180
7.1.5	Conclusion.....	180
7.2	PRINCIPAUX EVENEMENTS SURVENUS SUR LE BARRAGE DES CAMBOUS	181
7.2.1	Crues passées.....	181
7.2.2	Séismes passés.....	181
7.2.3	Mouvements de terrains passés	181
7.2.4	Evènements de foudre passés	182
7.2.5	Evènements de gel passés.....	182
7.2.6	Autres évènements.....	182
7.3	DESCRIPTION DES DEFAILLANCES, ACCIDENTS ET EVOLUTIONS SURVENUES SUR L'OUVRAGE ET MESURES PRISES EN CONSEQUENCE	182
7.3.1	Phases de construction et de mise en eau	182
7.3.2	Défaillances et incidents survenus depuis la mise en eau	182
7.3.3	Observations diverses.....	183
8	IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES RISQUES EN TERMES DE PROBABILITÉ D'OCCURRENCE, D'INTENSITÉ ET DE CINÉTIQUE DES EFFETS DE GRAVITÉ DES CONSÉQUENCES	185
8.1	DESCRIPTION ET PRINCIPE DE LA METHODOLOGIE UTILISEE	185
8.1.1	Description théorique de la méthodologie d'identification et de caractérisation des risques.....	186
8.1.1.1	Types d'analyses employées.....	186

8.1.1.1.1	Aléas et Retour d'Expérience	187
8.1.1.1.2	Identification des potentiels de danger	187
8.1.1.1.3	Analyse Fonctionnelle (AF).....	187
8.1.1.1.4	Analyse des Modes de Défaillance (AMD).....	187
8.1.1.1.5	Nœuds papillon	188
8.1.1.1.6	Matrice de criticité	189
8.1.1.2	Mode de représentation utilisé pour synthétiser les différents scénarios d'accidents identifiés	189
8.1.2	Mise en œuvre de la méthodologie	191
8.1.2.1	Moyens humains	191
8.1.2.2	Critères utilisés pour qualifier les scénarios d'accidents	193
8.1.2.2.1	Intensité des effets d'un phénomène dangereux associé à un évènement redouté central	193
8.1.2.2.2	Cinétique des effets d'un phénomène dangereux associé à un évènement redouté central	194
8.1.2.2.3	Niveau de confiance d'une barrière de sécurité	194
8.1.2.2.4	Gravité des conséquences d'un accident associé à un phénomène dangereux.....	195
8.1.2.2.5	Probabilité d'occurrence d'un évènement initiateur (EI)	196
8.1.2.2.6	Criticité d'un évènement redouté central	197
8.1.2.2.7	Comptage des personnes exposées	198
8.2	IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGER	198
8.2.1	Identification des potentiels de dangers.....	198
8.2.1.1	Caractérisation d'une « rupture structurelle » du barrage.....	199
8.2.1.2	Caractérisation d'un glissement/renversement du corps du barrage sur ses fondations/appuis.....	199
8.2.1.3	Caractérisation d'un dysfonctionnement du dispositif de vidange.....	199
8.2.2	Analyse de gravité des potentiels de dangers : étude de propagation de l'onde de submersion	200
8.2.3	Analyse des Modes de Défaillance et des Effets	200
8.3	IDENTIFICATION DES SCENARIOS D'ACCIDENTS ET ERC ASSOCIES	201
8.3.1	Identification des évènements redoutés centraux.....	201
8.3.2	Identification des évènements initiateurs	202
8.3.3	Identification des barrières de sécurité de prévention.....	202
8.3.4	Identification des phénomènes dangereux	202
8.3.5	Identification des barrières de limitation et des barrières de protection	202
8.4	CARACTERISATION DES EVENEMENTS REDOUTES CENTRAUX.....	202
8.4.1	Caractérisation des scénarios d'accidents en termes de probabilité.....	202
8.4.1.1	Introduction	202
8.4.1.2	Probabilité de l'ERC1.2 Rupture par modification des sollicitations	203
8.4.1.3	Probabilité de l'ERC2.1 Glissement/Renversement dû à une fondation et des appuis défectueux.....	204
8.4.1.4	Probabilité de l'ERC2.2 Glissement/Renversement par modification des sollicitations	204
8.4.1.5	Probabilité de l'ERC2.3 Glissement/Renversement dû à une érosion du pied aval du barrage	204

8.4.1.6	Probabilité de l'ERC3.3 Dispositif de vidange maintenu ouvert	205
8.4.2	Caractérisation de la gravité des ERC	208
8.4.2.1	Gravité de l'ERC1.2 Rupture par modification des sollicitations	208
8.4.2.2	Gravité de l'ERC2.1 Glissement/Renversement du à une fondation et des appuis défectueux.....	208
8.4.2.3	Gravité de l'ERC2.2 Glissement/Renversement par modification des sollicitations	208
8.4.2.4	Gravité de l'ERC2.3 Glissement/Renversement du à une érosion du pied aval du barrage	208
8.4.2.5	Gravité de l'ERC3.3 Dispositif de vidange maintenu ouvert	208
8.4.3	Matrice de criticité des scénarios accidentels	209
9	ETUDE DE RÉDUCTION DES RISQUES	211
9.1	INTRODUCTION	211
9.2	MESURE DE REDUTION DU RISQUE	212
9.3	MESURES D'AMELIORATION ET DE MAITRISE DU RISQUE	212
10	CARTOGRAPHIE.....	214
10.1	ETENDUE DE LA RETENUE POUR UN PLAN D'EAU A LA COTE 231 M NGF	214
10.2	CARTE DES ZONES INONDES EN CAS DE RUPTURE.....	215

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma permettant de déterminer la hauteur « H » d'un barrage existant lorsque l'altitude du terrain naturel n'est pas connue avec une précision suffisante.	17
Figure 2 : Localisation du barrage des Cambous	22
Figure 3 : Vue en plan de l'ouvrage dans son ensemble	24
Figure 4 : Elévations amont et aval du barrage	25
Figure 5 : Profil du seuil déversant	26
Figure 6 : Vue 3D des éléments du local à déconstruire [Réf 4].....	28
Figure 7 : Vue du local après travaux [Réf 4]	29
Figure 8 : Treuil monorail [Réf 4]	29
Figure 9 : Confortement du massif de butée rive droite après travaux, vue en coupe [Réf 4]	31
Figure 10 : Confortement du massif de butée rive droite envisagé, vue en plan et vue 3D [Réf 4]	31
Figure 11 : Carapace en aval rive gauche de l'ouvrage	32
Figure 12 : Fosse aval rive gauche.....	32
Figure 13 : Photos de l'ETC de 2012 des désordres sur la cheminée aval vue de l'extérieur et de l'intérieur [Réf 4].....	34
Figure 14 : Photos récentes des désordres sur le massif rive gauche [Réf 4].....	34
Figure 15 : Localisation de l'implantation des drains	36
Figure 16 : Têtes de drains existants.....	37
Figure 17 : Implantation du système de drainage après travaux [Réf 4].....	38
Figure 18 : Représentation avant travaux/après travaux des drains [Réf 4]	38
Figure 19 : Coupe sur drains complémentaires et nouveaux collecteurs en rive droite et gauche [Réf 4].....	38
Figure 20 : Plan exemple bac avec déversoir triangulaire à paroi mince (Source : ABT)	39
Figure 21 : Coupe et élévation du dispositif de restitution	41
Figure 22 - Éléments à déposer sur la conduite de restitution.....	42
Figure 23 – Nouveaux équipements à installer sur le circuit de restitution	43
Figure 24 : Coupe et vue en plan du dispositif de vidange	44
Figure 25 - Éléments à déposer sur la conduite de vidange.....	45
Figure 26 - Équipements à installer sur le circuit de vidange	46
Figure 27 : Implantation du disjoncteur de protection du coffret de restitution [Réf 4]	49
Figure 28 : Radiocommande industrielle et son récepteur	51
Figure 29 : Position du pendule inversé au niveau de la chambre des vannes	53
Figure 30 : Principe du pendule inversé	54
Figure 31 : Table de mesure.....	54
Figure 32: Vinchons existant et position des nouveaux vinchons au droit des joints A et I en galerie du barrage	55
Figure 33: Implantation des nouveaux vinchons en galerie du barrage.....	55
Figure 34: Réseau de surveillance topographique	56
Figure 35 : Carte du Gardon d'Alès, de ses confluent et de ses affluents	58
Figure 36 : Etendue de la retenue des Cambous à la côte 231,00 mNGF	59
Figure 37 : Siphon lors des travaux de 2002-2003.....	64
Figure 38 : Décomposition structurelle du corps du barrage	67
Figure 39 : Décomposition structurelle du dispositif de vidange	68
Figure 40 : Décomposition structurelle du dispositif de restitution	69
Figure 41 : Vue en plan de la topologie aux alentours de la retenue (source : Géoportail)	76
Figure 42 : Vue satellite 3D de la retenue et ses alentours (source : Google Earth)	76
Figure 43 : Voies d'accès au barrage des Cambous	77
Figure 44 : Zoom sur la voie d'accès au barrage des Cambous.....	78
Figure 45 : Accès au barrage via la N106 pendant la phase travaux	78
Figure 46 : Plan des accès chantier	79

Figure 47 : Vue aérienne du barrage de Sainte Cécile d'Andorge (état existant)	80
Figure 48 : Parement aval de l'ouvrage aménagé [Réf 20]	81
Figure 49 : Carte d'occupation du barrage sur la zone amont du barrage.....	83
Figure 50 : Carte d'occupation du territoire sur la zone aval du barrage	88
Figure 51 : Diagramme d'analyse fonctionnelle externe.....	92
Figure 52 : Organigramme du SGOH	95
Figure 53 : Essais de manœuvre des vannes de restitution	99
Figure 54 : Essais de manœuvre des vannes de vidange	99
Figure 55 : Description de la procédure E20 sur les opérations de contrôle hebdomadaire.....	100
Figure 56 : Description de la procédure E23 sur les opérations de contrôle mensuelles	100
Figure 57 : Description des procédures M43, M45, M46 et M84 sur les opérations particulières	100
Figure 58 : Schéma du parcours de la visite de surveillance hebdomadaire	101
Figure 59 : Schéma des dispositifs d'auscultation actuels.....	103
Figure 60: Siphon lors des travaux de 2002/2003	112
Figure 61: Analyse des crues sur les périodes Avril-Septembre et Juin-Septembre (moyenne des débits)	114
Figure 62: Vidange du bassin de dissipation et batardage de celui-ci.....	116
Figure 63: Sondages sur massif de butée Rive Droite	124
Figure 64: Ouverture dans le voile existant permettant l'équilibrage des pressions hydrostatiques lors des crues	126
Figure 65 : Déplacement irréversible vers l'amont du pendule inversé	130
Figure 66 : Repérage de l'amas de rocher et de la tranchée nécessaire à l'évaluation des matériaux de la fosse	135
Figure 67 : Zoom sur le maillage du barrage – Vue aval [Réf 5]	142
Figure 68 : Zoom sur le maillage des plots BC et DE avec la cabine en crête [Réf 5].....	143
Figure 69 : Plots centraux de l'ouvrage	147
Figure 70: Ouvertures du local existant	150
Figure 71: Collerettes et ancrages noyées dans le corps du barrage.....	152
Figure 72: Ancrages de couture entre voiles et parement	152
Figure 73: Courbe Hauteur/Volume du barrage des Cambous.....	156
Figure 74 : Zonage sismique de la France et localisation du barrage des Cambous	163
Figure 75 : Zonage sismique, limites départementales et localisation du barrage des Cambous	163
Figure 76 : Carte de la valeur de base de la vitesse de référence en France	166
Figure 77 : Hypothèses de températures pour l'eau en fonction de la profondeur	170
Figure 78 : Profil des températures relevées dans la retenue	171
Figure 79 : Rupture du barrage de Malpasset (France, 1959).....	175
Figure 80 : Rupture du barrage de Vajont (Italie, 1963)	176
Figure 81 : Résultats des essais de gonflement réalisés sur le barrage des Cambous.....	178
Figure 82 : Grille d'appréciation de l'expansion (source CEREMA).....	178
Figure 83 : Méthodologie de la présente analyse de risques	187
Figure 84 : Exemple de calcul de probabilité d'un EI_n à partir de deux EI_{n+1} reliés par un "OU"	189
Figure 85 : Exemple de calcul de probabilité d'un EI_n à partir de deux EI_{n+1} reliés par un "ET".....	189
Figure 86 : Un modèle de diagramme en nœud papillon (source : Guide de lecture des EDD des barrages (MEDDE, 2012).....	190
Figure 87 : Modèle de matrice de criticité utilisé dans la présente étude de dangers (état conforté)	197
Figure 88 : Arbre de probabilité de l'ERC1.2 Rupture par modification des sollicitations	203
Figure 89 : Arbre de probabilité de l'ERC2.1 Glissement/Renversement du à une fondation et des appuis défectueux	204
Figure 90 : Arbre de probabilité de l'ERC2.2 Glissement/Renversement par modification des sollicitations.....	204
Figure 91 : Arbre de probabilité de l'ERC2.3a Glissement/Renversement du à une érosion du pied aval du barrage (aval seuil déversant).....	204
Figure 92 : Arbre de probabilité de l'ERC2.3b Glissement/Renversement du à une érosion du pied aval du barrage (aval des culées).....	205
Figure 93 : Arbre de probabilité de l'ERC3.3 Perte de contrôle des débits de vidange	206
Figure 94 : Matrice de criticité de l'EDD 2012 (classification des scénarios).....	209
Figure 95 : Matrice de criticité – Classification des scénarios (état conforté)	210
Figure 96 : Hydrogramme de rupture au droit du barrage des Cambous	215

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Définition des classes de barrage.....	16
Tableau 2 : Caractéristiques principales de l'ouvrage	24
Tableau 3 : Capacité d'évacuation du seuil déversant	27
Tableau 4 : Tableau des débits moyen mensuel apportés par le barrage de Sainte Cécile d'Andorge à la retenue des Cambous (Source : Etude BRLi - Stratégie de gestion de la ressource en eau face au changement climatique : Schéma Départemental du Gard "Eau et Climat 3.0)	40
Tableau 5 : Mesures de surveillance dans le cadre de l'auscultation du barrage.....	57
Tableau 6 : Fonctions des sous-systèmes du barrage	66
Tableau 7 : Décomposition structurelle du corps du barrage	66
Tableau 8 : Décomposition structurelle du dispositif de vidange	68
Tableau 9 : Décomposition structurelle du dispositif de restitution	69
Tableau 10 : Tableau d'analyse fonctionnelle du barrage des Cambous : Corps du barrage	70
Tableau 11 : Tableau d'analyse fonctionnelle du barrage des Cambous : Dispositif de vidange	72
Tableau 12 : Tableau d'analyse fonctionnelle du barrage des Cambous : Dispositif de restitution	74
Tableau 13 : Légende données CORINE LAND ROVER.....	83
Tableau 14 : Surfaces d'occupation des sols impactées par l'onde de submersion	86
Tableau 15 : Infrastructures de transport, zone aval	89
Tableau 16 : Fonctions principales de l'analyse fonctionnelle externe	90
Tableau 17 : Fonctions contraintes issues de l'analyse fonctionnelle externe.....	91
Tableau 18 : Description des dispositifs d'auscultation du barrage des Cambous	102
Tableau 19 : Description des mesures d'auscultation réalisées sur le barrage des Cambous	103
Tableau 20 : Modalités de contrôle des appareils de mesure du barrage des Cambous	104
Tableau 21 : Modalités de mesure de la cote du plan d'eau	104
Tableau 22 : Outils pour l'anticipation des crues sur le barrage des Cambous	108
Tableau 23 : Volume des crues saisonnières (juin-juillet) au droit du barrage des Cambous (en m ³).....	115
Tableau 24 : Volume des crues saisonnières (juin-juillet) stocké au droit du barrage des Cambous avec fonctionnement du siphon (en m ³)	117
Tableau 25 : Calendrier des opérations réalisées spécifiquement dans le cadre du Diagnostic Exhaustif de l'ouvrage	121
Tableau 26 : Caractéristiques mécaniques de la masse rocheuse [Réf 5]	141
Tableau 27 : Hypothèses de températures retenues pour l'air [Réf 5].....	142
Tableau 28 : Situations de calculs [Réf 5]	144
Tableau 29 : Cohésion apparente à mobiliser pour assurer la stabilité des plots centraux [Réf 5].....	147
Tableau 30 : Synthèse des résultats pour la crue décennale de Sainte Cécile d'Andorge [Réf 2]	160
Tableau 31 : Résultat du laminage – Syhpre [Réf 2]	161
Tableau 32 : Résultats modélisation hydraulique (état existant)	161
Tableau 33 : Résultats modélisation hydraulique (avec le nouvel évacuateur de Sainte Cécile d'Andorge)	162
Tableau 34 : Niveaux de la retenue barrage des Cambous	162
Tableau 35 : Définition des zones de sismicité en France depuis le 1er mai 2011.....	164
Tableau 36 : Evènements sismiques ressentis à proximité du barrage	164
Tableau 37 : Vitesse du vent de référence selon la zone en France métropolitaine.....	166
Tableau 38 : Hauteur des vagues créées par le vent	168
Tableau 39 : Hypothèses de températures retenues pour l'air	169
Tableau 40 : Hypothèses de répartition des températures dans l'eau.....	170
Tableau 41 : Cotes maximales de la retenue des Cambous depuis 2013.....	181
Tableau 42 : Grille de gravité utilisée dans cette EDD pour les événements extrêmes.....	196
Tableau 43 : Grille de probabilité d'occurrence utilisée dans la présente EDD	197
Tableau 44 : Nombre de personnes exposées par l'onde de submersion du barrage.....	200
Tableau 45 : Liste des évènements redoutés centraux (ERC) retenus pour l'étude de dangers 2022 du barrage des Cambous.....	201
Tableau 46 : Synthèse des classes de probabilité pour chaque ERC impacté par les travaux	203
Tableau 47 : Echelle des délais d'application des recommandations.....	211

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Aléa feu de forêt dans le département du Gard	173
---	-----



1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

1.1 PROPRIETAIRE, EXPLOITANT ET SERVICE DE CONTROLE EN CHARGE DU BARRAGE

Le Conseil Départemental du Gard est le propriétaire de l'ouvrage depuis 1992.

Il se fait assister d'un Bureau d'Etudes agréé au titre du Code de l'Environnement qui assure un contrat de service pour l'assistance technique à la surveillance, l'exploitation et la maintenance de l'ouvrage.

La Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Occitanie, antenne de Montpellier, est le service de contrôle affecté au barrage des Cambous.


Le tableau suivant résume les éléments présentés ci-dessus :

Fonction	Organismes
<p>Propriétaire et en charge de l'exploitation du barrage</p>	<p>Conseil Départemental du Gard</p>  <p>Direction de l'Eau et de la Valorisation du Patrimoine Naturel</p> <p>Département du Gard 3 rue Guillemette, 30044 NIMES CEDEX 9</p>
<p>Organisme s'assurant du respect de la réglementation en vigueur par le responsable de l'ouvrage</p>	<p>Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) – Site de Montpellier</p>  <p>Direction : Risques Naturels</p> <p>520 All. Henri II de Montmorency, 34000 Montpellier</p>



1.2 ORGANISME AGREE EN CHARGE DE L'ETUDE DE DANGERS

La première Etude De Dangers de l'ouvrage a été réalisée en 2013 par BRL Ingénierie, bureau d'étude agréé, qui est aujourd'hui en charge de l'actualisation de ce document.

FONCTION	ORGANISME
Organisme agréé en charge de l'Etude De Dangers	<p>BRL Ingénierie</p>  <p>1105 avenue Pierre Mendès-France, 30900 Nîmes</p>

1.3 REDACTEURS DU DOSSIER

ORGANISME	NOM
BRLi	Julien VANWARREGHEM
BRLi	Alexandre DORADOUX
BRLi	Hayate TIGRA
ISL	Akim SALMI

16

1.4 CLASSEMENT DE L'OUVRAGE

L'article R214-112 du Code de l'Environnement, modifié par le Décret n° 2015-526 du 12 mai 2015 (J.O. 2015), définit les classes de barrages selon le tableau suivant :

Tableau 1 : Définition des classes de barrage

Classe de l'ouvrage	Caractéristiques géométriques de l'ouvrage
A	$H \geq 20 \text{ m}$ et $H^2 * V^{0,5} > 1500$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel : $H \geq 10 \text{ m}$ et $H^2 * V^{0,5} > 200$
C	<p>a) Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel :</p> $H^2 * V^{0,5} \geq 20 \text{ et } H \geq 5 \text{ m}$ <p>b) Ouvrage pour lequel les conditions prévues au a) ne sont pas satisfaites mais qui répond aux conditions cumulatives ci-après</p> <p>i) $H > 2 \text{ m}$;</p> <p>ii) $V > 0,05$;</p>



	iii) Il existe une ou plusieurs habitations à l'aval du barrage, jusqu'à une distance par rapport à celui-ci de 400 mètres.
--	---

Avec :

- "H", la hauteur de l'ouvrage exprimée en mètres et définie comme la plus grande hauteur mesurée verticalement entre le sommet de l'ouvrage et le terrain naturel à l'aplomb de ce sommet ;
- "V", le volume retenu exprimé en millions de mètres cubes et défini comme le volume qui est retenu par le barrage à la cote de retenue normale.

L'arrêté du 17 mars 2017 précise les modalités de détermination de la hauteur et du volume des barrages (voir schéma ci-après).

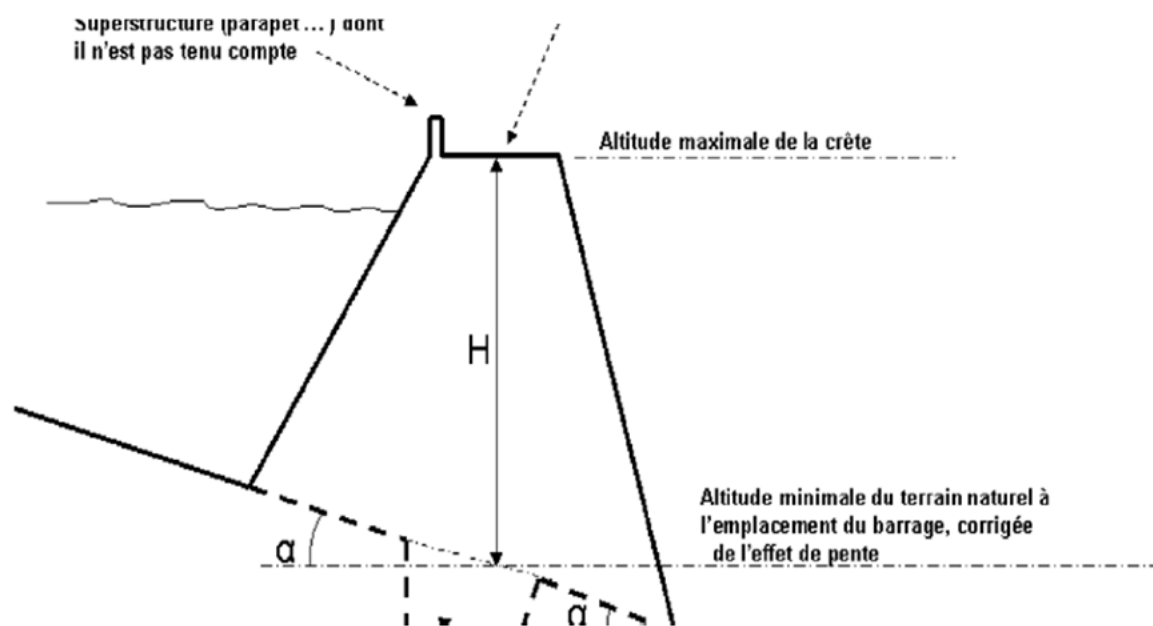


Figure 1 : Schéma permettant de déterminer la hauteur « H » d'un barrage existant lorsque l'altitude du terrain naturel n'est pas connue avec une précision suffisante.

Le barrage des Cambous a une hauteur au-dessus du terrain naturel égale à $H = 19 \text{ m}$, et un volume retenu de $V = 1,12 \text{ hm}^3$.

D'autre part, $H^2 \times V^{0,5} = 19^2 * 1,12^{0,5} = 382 > 200$.

Ces deux conditions permettent de classer le barrage des Cambous comme ouvrage de classe B au sens de l'article R214-112 du Code de l'Environnement.

Le Conseil Départemental a sollicité la DREAL-SCSOH par un courrier en date du 24 avril 2017 en vue d'aboutir à un classement de l'ouvrage conforme au décret de 2015.

La DREAL-SCSOH a répondu défavorablement par un courrier reçu le 20 juillet 2018. Elle se base pour cela sur les résultats de l'étude de l'onde de rupture du barrage réalisée par le bureau d'étude INGEROP en 2017 [Réf 1]. Cette dernière indique qu'un nombre important de personnes situées à l'aval immédiat du barrage seraient menacées dans un temps très court en cas de rupture de l'ouvrage tandis que la probabilité d'atteindre la cote de danger demeure élevée.



Aussi compte-tenu des aléas et des enjeux suscités, la DREAL considère, en application de l'article R.214-114 du code de l'environnement que le maintien du barrage en classe A est plus approprié.

Ouvrage de classe A au sens de l'article R214-112 du Code de l'Environnement.

1.5 CADRE ADMINISTRATIF DE L'ETUDE DE DANGERS

Conformément aux articles L211-3-III et R214-115 à R214-117 du Code de l'Environnement et au décret n° 2007-1735 du 11 Décembre 2007, le barrage des Cambous a fait l'objet d'une étude de dangers initiale en 2013.

Le présent document entre dans le cadre des travaux à venir pour la sécurisation du complexe hydraulique constitué par le barrage de Sainte Cécile d'Andorge et le barrage des Cambous.

Dans le cadre de ce projet, la mise à jour de l'Etude De Dangers initiale du barrage des Cambous est attendue. Conformément au point d) du §1 de l'Annexe de l'Arrêté du 3 septembre 2018 modifiant l'arrêté du 12 juin 2008 définissant le plan d'étude de dangers des barrages et des digues et en précisant le contenu, la présente EDD est réalisée suivant le cas n°2 puisqu'elles se réfère à « une demande d'autorisation ou d'approbation nouvelle d'un barrage existant en raison des travaux qui y sont prévus ». Soit, selon l'arrêté cité ci-dessus :

Cas 2 : L'étude est jointe au dossier de nouvelle autorisation pour des travaux envisagés sur un barrage existant dès lors que ces travaux sont qualifiés de « modification substantielle » au sens de l'article R181-46 du code de l'environnement pour un barrage « loi sur l'eau », sous l'angle de la sécurité.



2 OBJET DE L'ETUDE

2.1 ARTICULATION AVEC LES AUTRES EXIGENCES

En accord avec l'article R741-33 du Code de la sécurité intérieure, le barrage des Cambous ne donne pas lieu à la réalisation d'un Plan Particulier d'Intervention (PPI), le volume de sa retenue étant inférieur à 15 hm³ (J.O. 2014).

Le barrage est mentionné dans l'arrêté préfectoral relatif à la pêche en eau douce dans le département du Gard [Réf 27] sans que cela n'ait d'impact sur la présente étude de dangers.

2.2 PERIMETRE DE L'OUVRAGE

La réalisation de l'étude de dangers nécessite de distinguer l'ouvrage à étudier de son environnement. Les ouvrages à intégrer au périmètre étudié sont « tous les éléments participant à la fermeture de la retenue et étant susceptibles de libérer tout ou une partie de cette retenue » (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, 2020).

Le périmètre de l'ouvrage, objet de l'étude de dangers, comprend donc :

- Le barrage et son seuil déversant ;
- Le dispositif de vidange et de restitution ;
- La retenue (plan d'eau) et les berges ;
- Les appareils d'auscultation et de mesure ;
- Le réseau électrique ;
- Le système de contrôle/commande ;
- Le réseau de télécommunication.

2.3 DOCUMENTS DE REFERENCE

DOCUMENTATION SPECIFIQUE AU BARRAGE

- [Réf 1]. INGEROP. (2017). Etude de l'onde de rupture du barrage des Cambous
- [Réf 2]. ISL – HYDRIS. (2014). Actualisation des études hydrologiques des barrages de Sainte Cécile d'Andorge et de Sénéchas
- [Réf 3]. BRLi – ISL. (2021). Sécurisation du complexe hydraulique formé par les barrages de Sainte Cécile d'Andorge et des Cambous – Barrage des Cambous – Rapport d'études d'Avant-projet (AVP) – indice D
- [Réf 4]. BRLi – ISL. (2023). Sécurisation du complexe hydraulique formé par les barrages de Sainte Cécile d'Andorge et des Cambous – Barrage des Cambous – Rapport d'études de Projet (PRO) – indice E
- [Réf 5]. ISL. (2021). Etude de stabilité définitive du barrage des Cambous – indice B
- [Réf 6]. CD30. (2022). Consignes écrites de surveillance et d'exploitation en toutes circonstances, barrage des Cambous



- [Réf 7]. BRLi. (2013). Barrage des Cambous – Etude De Dangers – Rapport Principal – Janvier 2013 – indice A
- [Réf 8]. SIEE - CEMAGREF. (1999). Barrage de Sainte Cécile d'Andorge – Etude de propagation de l'onde de rupture
- [Réf 9]. LOMBARDI. (2016). Mission de maîtrise d'œuvre pour le confortement du massif de la butée rive droite et la réfection ponctuelle du parement aval – Diagnostic
- [Réf 10]. Université Gustave Eiffel. (2021). Rapport XX3-P21704 – Auscultation de deux échantillons de béton provenant d'une culée du barrage des Cambous
- [Réf 11]. BRLi. (2015). Analyse du dispositif d'auscultation vis-à-vis de la spécificité d'une voûte en vallée large - Etude Préliminaire
- [Réf 12]. IRSTEA. (2016). Avis de l'IRSTEA du 11 avril 2016 relatif au rapport d'analyse du dispositif d'auscultation du barrage des Cambous vis-à-vis de la spécificité d'une voute en vallée large
- [Réf 13]. GINGER CEBTP. (2021). Conseil Départemental 30 – Barrage des Cambous – Ste Cécile d'Andorge (30) – Présentation des investigations réalisées – Dossier CDGP.K.2004
- [Réf 14]. GINGER CEBTP. (2022). Barrage des Cambous – Présentation des investigations réalisées en aval rive gauche – Dossier CDGP.M2002
- [Réf 15]. B-bass Géomètre expert. (2020). Relevés topographiques et bathymétriques
- [Réf 16]. ISL. (2014). Modélisation hydraulique du barrage des Cambous. *(fournie en Annexe 02 de [Réf 5])*
- [Réf 17]. Coyne et Bellier/Laboratoire de Détection et de Géophysique du CEA. (1997). Barrage de Sénéchas et de Ste Cécile d'Andorge – Analyse du risque sismique et de celui de la survenance d'un effondrement dans la retenue
- [Réf 18]. BRLi. (2012). Barrage des Cambous – Etude de risque de glissement de terrain
- [Réf 19]. BRLi. (2008). Reprise des études hydrologiques des barrages départementaux – Version définitive
- [Réf 20]. ISL. (2022). Mise à jour de l'Etude de Dangers du barrage de Sainte Cécile d'Andorge *(réalisée dans le cadre du projet de sécurisation du barrage)*
- [Réf 21]. BRLi. (2014 à 2021). Barrage des Cambous (30) – Rapport d'auscultation – Analyse des résultats d'auscultation et des mesures topographiques
- [Réf 22]. BRLi. (2014 à 2021). Barrage des Cambous (30) – Rapport de surveillance – Visite Technique Approfondie (VTA)
- [Réf 23]. DREAL. (2014 à 2021). Rapport d'inspection – Barrage des Cambous, classe A
- [Réf 24]. Politique du système de gestion de la sécurité des barrages du département du Gard – Direction de l'Eau et de la Valorisation du Patrimoine Naturel Service Grands Ouvrages Hydrauliques – Septembre 2019
- [Réf 25]. CD30. (2020). Règlement intérieur exploitation des barrages et aménagements hydrauliques
- [Réf 26]. BRLi. (2020). Projet de sécurisation du complexe hydraulique formé par les barrages de Sainte Cécile d'Andorge et des Cambous – Programme des investigations du diagnostic exhaustif (ind B)



DOCUMENTATION REGLEMENTAIRE, RECOMMANDATIONS ET ETUDES

- [Réf 27]. Direction Départementale des Territoires et de la Mer. (2021). Arrêté relatif à l'exercice de la pêche en eau douce dans le département du Gard - Période de 2019 à 2021
- [Réf 28]. Ministère de la transition écologique et solidaire. (2018). Arrêté du 6 aout 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages (ATB)
- [Réf 29]. CFBR. (2018). Recommandations provisoires pour la justification du comportement des barrages - voûtes
- [Réf 30]. DDTM. (2018). Plan départemental de protection des forêts contre les incendies
- [Réf 31]. Pells, S. School of Civil and Environmental Engineering – Faculty of Engineering – University of New South Wales. (2016). Erosion of rock in spillways – School of Civil and Environmental Engineering – These
- [Réf 32]. Annandale, G.W. (1995). Erodibility, JHR
- [Réf 33]. Anaïs Faivre, Benoit Blancher, Florence Lafon, EDF-CIH. (2019). Colloque CFBR: “Justification des barrages: état de l’art et perspectives” – Etude du potentiel d'érosion du chenal en aval des vannes de fond du barrage de Petit-Saut par application des critères eGSI et RMEI



3 ANALYSE FONCTIONNELLE DE L'OUVRAGE ET DE SON ENVIRONNEMENT

3.1 DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'objectif de cette partie est de décrire les différents éléments qui composent l'ouvrage proprement dit.

Cette partie ne se limite pas à une description détaillée de chacun de ces composants mais propose également une analyse fonctionnelle complète illustrant leurs fonctions et les relations existant entre eux.

La démarche adoptée dans la suite de ce chapitre est la suivante :

- En premier lieu, l'état existant de l'ouvrage (avant travaux) est décrit ;
- Ensuite, les modifications majeures induites par le projet sont détaillées afin de préciser l'état de certaine partie d'ouvrage pendant les travaux ;
- Enfin, une description de l'état final de l'ouvrage (après travaux) est fournie. Pour ce dernier point, nous invitons le lecteur à se référer au document [Réf 4] pour davantage de précisions techniques sur la méthode de réalisation des travaux.

3.1.1 Localisation et description de l'ouvrage

AVANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Le barrage des Cambous se situe sur le Gardon d'Alès, dans le département du Gard, à 4 km en amont de la ville de la Grand-Combe et à 18 km de la ville d'Alès.

L'ouvrage et la retenue qu'il forme se trouvent sur les communes de Sainte Cécile d'Andorge et de Branoux-les-Taillades, au lieudit Les Cambous.

La carte de localisation de l'ouvrage est représentée ci-dessous :

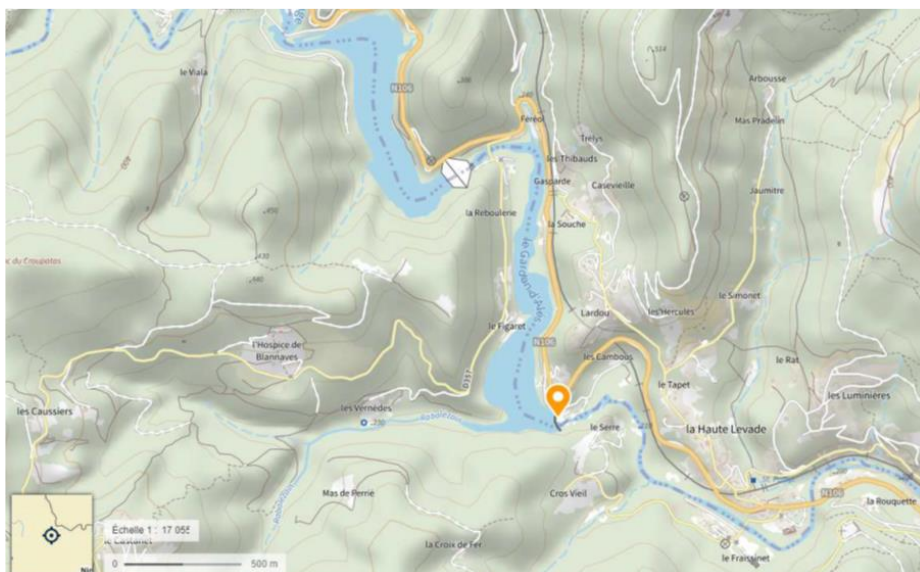


Figure 2 : Localisation du barrage des Cambous



Le barrage des Cambous, propriété du département du Gard depuis 1992, fut créé en 1956 par les Houillères de Bassin du centre et du Midi (H.B.C.M.) afin de disposer d'une retenue d'eau nécessaire à l'alimentation de la centrale du Fesc et au refroidissement des chaudières des mines de la Grand-Combe. Actuellement, la retenue n'a plus la même vocation. Les volumes stockés ne servent qu'occasionnellement au soutien d'étiage lorsque le barrage de Sainte Cécile d'Andorge situé juste en amont n'est plus en mesure de l'assurer. Le reste du temps le plan d'eau est à niveau quasiment constant ce qui favorise des activités touristiques variées.

En 2002-2003, le Département a procédé au renouvellement et à la modernisation de la chambre des vannes en installant une prise d'eau à niveau variable qui se raccorde sur une conduite de restitution équipée en sortie d'une vanne à jet creux. La couche d'usure du seuil déversant a été aussi entièrement refaite et le Département a profité de cette occasion pour réaliser une pile centrale qui permet de manœuvrer la prise à niveau variable, d'accueillir un pendule de mesure des déplacements et de faciliter le nettoyage du périmètre situé autour des conduites de restitution et de vidange.

Le barrage des Cambous est un ouvrage en béton armé de type voûte déversante d'une hauteur de **19 m** et d'une longueur en crête de **120 m**, dont **85 m** sont déversants.

Sa crête est à une altitude de **227 m NGF** qui constitue également la côte de retenue normale.

L'évacuation des débits est assurée par :

- L'ouvrage à proprement parlé, qui de par sa constitution en voûte déversante possède une grande capacité d'évacuation ;
- Un dispositif de restitution composé d'une conduite équipée d'une prise à niveau variable, d'une vanne de garde et d'une vanne de réglage, qui permet la gestion des faibles débits (débit réservé et soutien d'étiage au Gardon) ;
- Un dispositif de vidange composé d'une conduite équipée d'une boule batardeau, d'une vanne de garde et d'une vanne de réglage.

Les éléments de l'ouvrage, autant en termes de génie civil que de vantellerie seront décrits dans la suite de la présente étude.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Le dispositif d'auscultation du barrage sera amélioré. Il sera complété par un second pendule de mesure des déplacements en pied de barrage, 6 nouveaux vinchons, 2 nouveaux piézomètres en culées rive gauche et rive droite, de nouveaux drains, deux collecteurs de drains et 3 cellules de pression interstitielle au niveau des plots centraux pour le suivi des pressions. Les vannes à jets creux de restitution et de vidange seront remplacées par des vannes annulaires à piston. Des travaux de confortement du génie civil sont également prévus dans ce cadre au niveau de la fosse aval et de la chambre aval. Ils sont décrits au chapitre 3.1.2.

Une révision de l'hydrologie des crues du barrage de Sainte Cécile d'Andorge, barrage en enrochements situé à 1.5 km en amont du barrage des Cambous et qui voit sa capacité d'évacuation évoluer par la création d'un évacuateur de surface en BCR, a été réalisée en 2014 [Réf 2].

Le bassin versant des Cambous est de 125 km² dont 92 % de la surface est située en amont du barrage de Sainte Cécile d'Andorge. Il a donc été considéré que les débits entrants dans le barrage des Cambous étaient les débits sortants du barrage de Sainte Cécile d'Andorge (laminage négligeable).



Avec le nouvel évacuateur de crue sur le barrage de Sainte Cécile d'Andorge, pour la crue de période de retour 1 000 ans, le débit en sortie du nouvel évacuateur sera de 1 080 m³/s. Pour ce débit, la cote de retenue du barrage des Cambous a alors été estimée à 230,40 m NGF.

Cette cote de **230.40 m NGF** correspond donc à la nouvelle cote des Plus Hautes Eaux (PHE) de l'ouvrage, comme explicité dans la présente étude.

3.1.2 Description du génie civil

3.1.2.1 Caractéristiques

ÉTAT EXISTANT

Les caractéristiques principales de l'ouvrage sont les suivantes :

Tableau 2 : Caractéristiques principales de l'ouvrage

Ouvrage : Barrage voute épaisse à simple courbure	
Côte supérieure du couronnement	227,00 m NGF
Hauteur maximale au-dessus de la fondation	23 m
Hauteur maximale au-dessus du terrain naturel	19 m
Largeur en crête	4 m
Longueur en crête	120 m
Épaisseur maximale au niveau du terrain naturel	10,3 m
Rayon de courbure amont	52 m
Volume du corps du barrage	9000 m ³
Fondations	Micaschistes

Le plan d'ensemble de l'ouvrage est représenté ci-après :

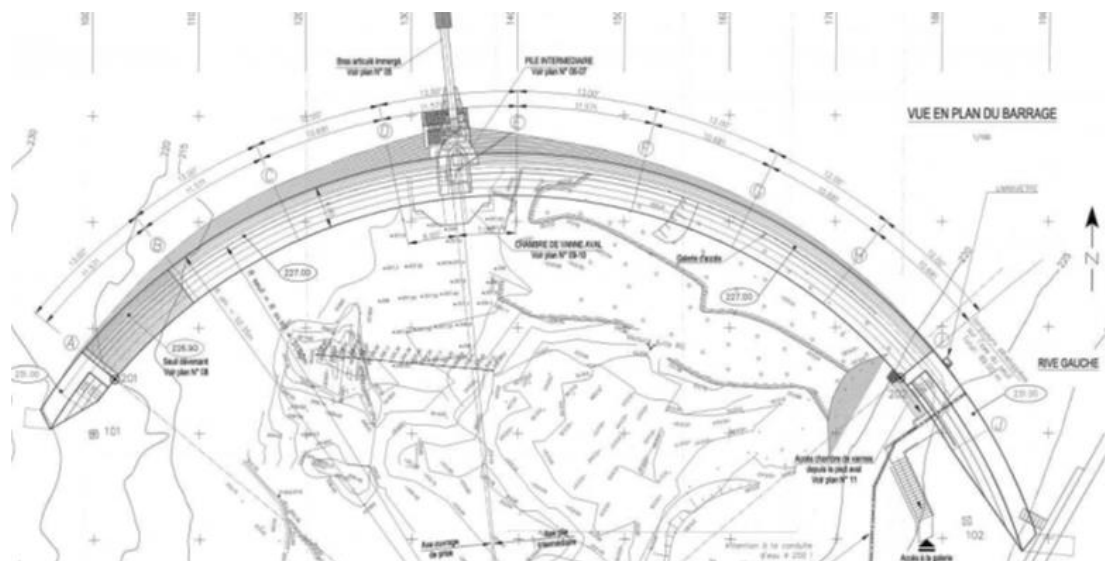


Figure 3 : Vue en plan de l'ouvrage dans son ensemble



Achevé en été 1957, il a été mis en eau pour la première fois le 20 septembre 1957. Il a ensuite fait l'objet de travaux au niveau de sa fondation aval en 1960, suite à la catastrophe de Malpasset et à l'épisode de crue cévenole majeur de 1958, et s'est vu équipé de drains verticaux de 7 à 10 m de profondeur. Le détail des principaux travaux réalisés sur l'ouvrage est fourni au chapitre 7.3.2.

Le corps du barrage en béton, dont le déversoir est à la cote 227 m NGF, a une hauteur maximale au-dessus de sa fondation d'environ 23m et une hauteur au-dessus du terrain naturel de 19m. Son parement amont est un cylindre sub-vertical, avec un fruit de 0,15/1 sous la cote 222 m NGF et vertical au-dessus, et un rayon de 52m. Le parement aval est quant à lui vertical sous la cote 217.35 m NGF et surplombant avec un rayon de 16m au-dessus.

Son déversoir est long de 89m avec une échancrure en rive droite de 10m de long pour laquelle la cote de déversement est de 226.90 m NGF.

A tous les niveaux, les coupes horizontales se présentent sous forme d'anneaux circulaires d'épaisseur constante, variant de 2m en dessous du déversoir (cote 220 m NGF) à 4m au niveau du déversoir.

D'une longueur de 120m environ en crête, le barrage est découpé en 11 plots, dont 3 plots-culées aux extrémités (1 en rive droite, 2 en rive gauche). 8 plots portent le déversoir libre de surface, parmi lesquels un est équipé en plus de l'ouvrage de vidange et de l'ouvrage de prise.

En 2002, le barrage a été rénové. Son dispositif de vidange et de prise d'eau a été modernisé et renouvelé par la reconstruction de la chambre des vannes et l'installation d'une prise d'eau à niveau variable sur la conduite de restitution. Le seuil déversant a été entièrement refait et une pile centrale a été réalisée, ce qui a permis la mise en place d'un pendule inversé et d'un grappin facilitant le nettoyage du périmètre situé autour des conduites de restitution et de vidange.

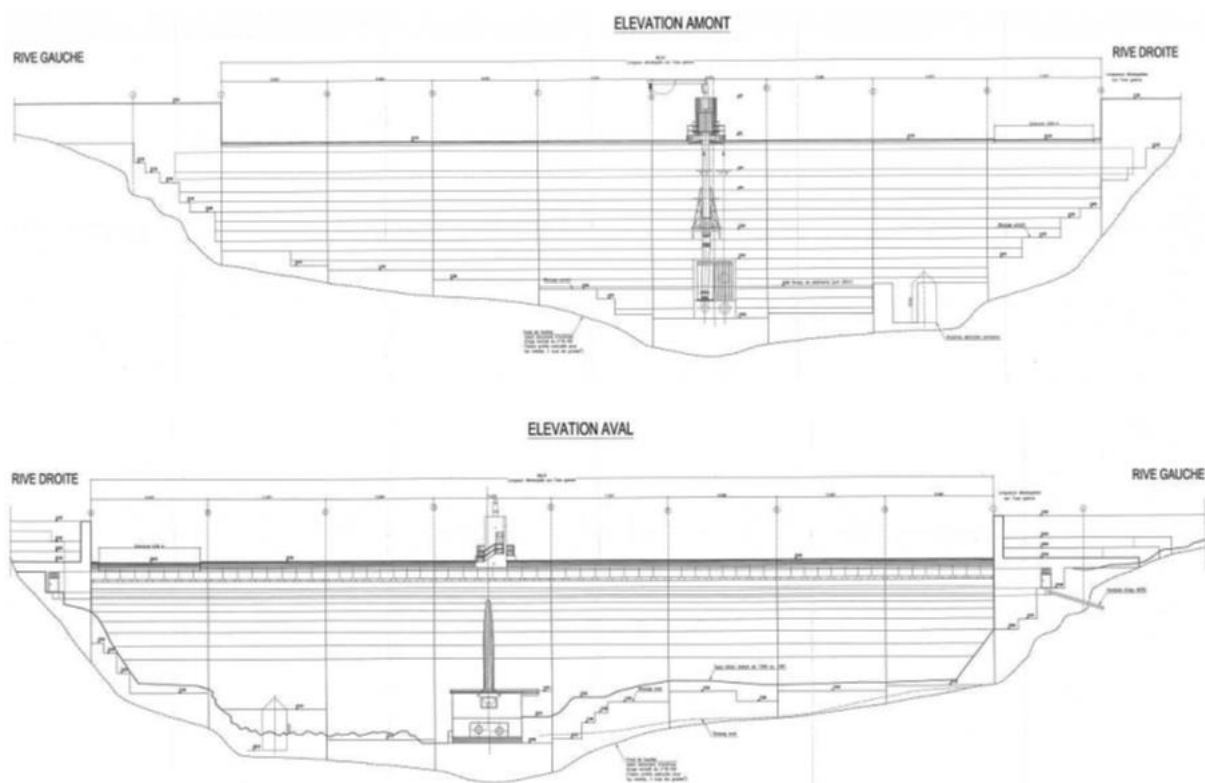


Figure 4 : Elévations amont et aval du barrage



PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Des travaux de confortement vont venir modifier :

- Le massif de butée rive droite : injection des vides/fissures, mise en place de drains, mise en œuvre de treillis d'armatures et de béton projeté pour la réalisation d'une carapace ;
- La fosse aval rive droite afin de limiter les risques d'affouillement : purge/déroctage superficiel, mise en œuvre d'une dalle en béton armé d'épaisseur minimale de 60 cm ancrée dans le substratum rocheux par des barres d'ancrage ;
- La fosse aval rive gauche : réalisation d'une nouvelle carapace en béton coulé en place sur le tapis existant, d'épaisseur minimale de 30cm, ancrée par des barres d'ancrage courtes ;
- Le génie civil de la chambre aval.

3.1.2.2 Seuil déversant

ÉTAT EXISTANT

La crête est constituée d'un seuil déversant réalisé au moyen de pièces préfabriquées qui avaient servi de coffrage perdu. Ce seuil était en mauvais état et a été déconstruit en 2002 sur 20 cm d'épaisseur sur tout le linéaire de l'ouvrage, puis reconstruit à l'identique, les éléments préfabriqués situés en aval du seuil étant conservés. Afin que le nouveau seuil résiste mieux aux agressions auxquelles il est soumis, le béton a été adjuvanté à la fumée de silice (meilleure résistance à l'abrasion et aux agressions chimiques).

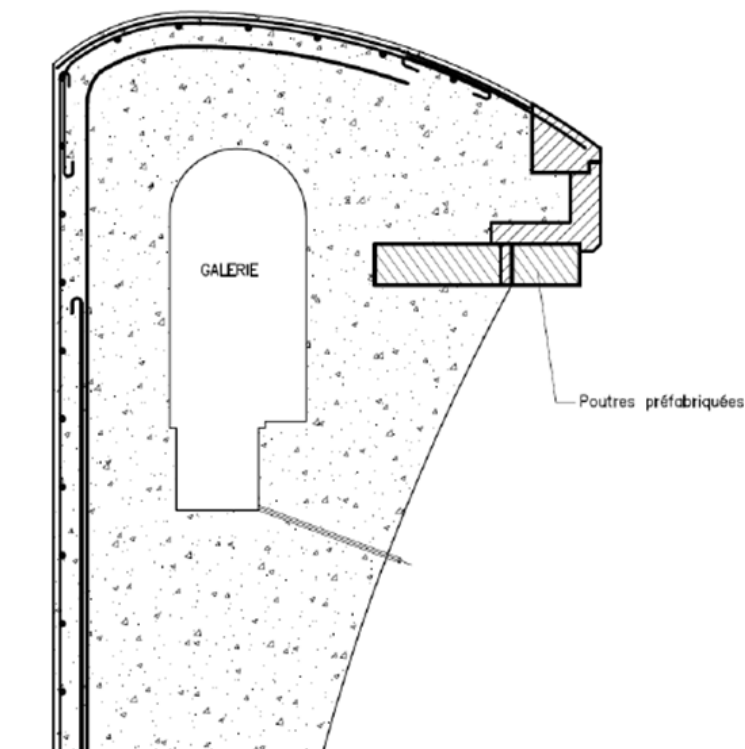


Figure 5 : Profil du seuil déversant



Une brèche de concentration des débits, longue de 10 m et profonde de 10 cm a été aménagée en rive droite pour les bas débits (jusqu'à $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$). Au-delà de 227,00 mNGF environ, tout le seuil déversant se met en service, soit 85 ml (la pile intermédiaire faisant 4m).

L'impact du jet est proche du pied du barrage du fait de la forme du seuil. La zone d'impact a donc été protégée en rive gauche par un revêtement en béton armé. La capacité du déversoir, en fonction de la cote de remplissage est donnée dans le tableau ci-dessous (avec un coefficient de débit qui a été estimé à la suite de la modélisation hydraulique 3D réalisée par ISL [Réf 5] et qui est conforme à la valeur de 0.46 estimée par la littérature) :

Tableau 3 : Capacité d'évacuation du seuil déversant

COTE (m NGF)	DEBIT (données issues de la modélisation hydraulique, en m^3/s)	DEBIT (calculé par la loi de seuil en m^3/s)
226,90	0	0
227	0 ¹	0,60
228	190	180
229	520	500
230	930	905
230.40	1 080	1 090
231.10	1 470	1 450

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

3.1.2.3 Chambre aval

ETAT EXISTANT

La chambre des vannes se situe en pied aval du barrage au droit de la pile centrale. Son accès est permis par l'extérieur par une piste en rive gauche aval ou par l'intérieur par le puits d'accès depuis la galerie de visite (notamment si le barrage déverse).

La chambre aval a été rénovée en grande partie durant les travaux de 2002. Elle permet les manœuvres des vannes papillon et des jets creux. Elle est équipée d'un caillebotis muni d'une trappe pour accès aux conduites, vannes et système de by-pass.

Elle est constituée de voiles et d'une couverture en béton armée. Elle se décompose en deux niveaux :

- Un premier niveau, accessible depuis la porte située en rive gauche. Il regroupe les organes de manœuvres et dispose d'une ouverture en face aval afin de pouvoir observer les vannes jet creux situées à l'extérieur. Le plancher de ce premier niveau est composé de caillebotis reposant sur des poutres et poteaux en béton armés ;

¹ Le modèle réalisé n'ayant pas pris en compte l'échancrure, on trouve un débit nul à la cote 227 m NGF.



- Un deuxième niveau, accessible par des échelles depuis le premier niveau. Il permet d'accéder aux vannes de garde et aux portions de conduites aval des circuits de vidange et de restitution. Un système de by-pass existe entre les différentes conduites.

Des ouvertures ont été volontairement créées dans le génie civil de cette chambre afin de permettre un équilibrage des pressions hydrostatiques lors des phases de crue.

Une pompe d'exhaure permet de vidanger la partie basse de la chambre des infiltrations. Le déclenchement puis l'arrêt se font au moyen de deux poires de niveau.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Le local de la chambre aval va totalement être déconstruit car :

- Les travaux de modifications des conduites de restitution et de vidange nécessitent a minima la déconstruction totale du voile face aval et de la dalle de couverture ;
- Les divers ajouts tels qu'une porte et des ouvertures permettant l'équilibre des niveaux d'eau, nécessitent également une déconstruction partielle des voiles latéraux.

Les parties du local déconstruit apparaissent sur la vue 3D ci-dessous. Seuls le radier existant et une partie des voiles accolés/parallèles au barrage seront conservés.

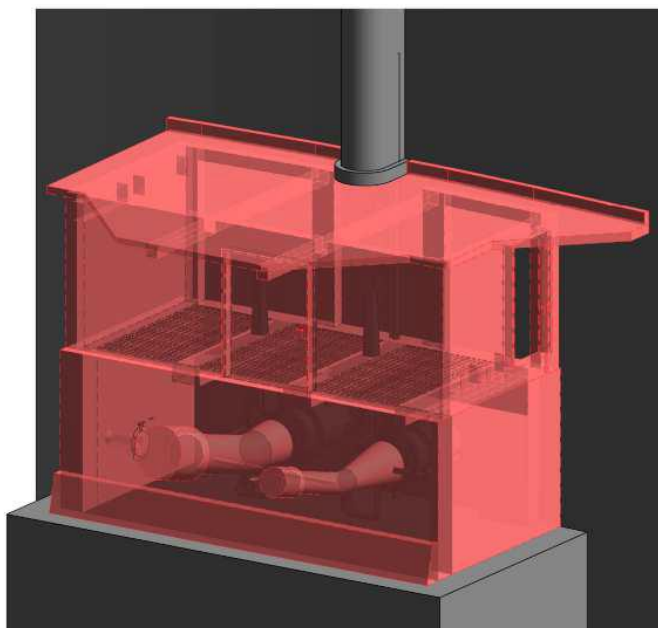


Figure 6 : Vue 3D des éléments du local à déconstruire [Réf 4]

Une fois la déconstruction effectuée, le terrassement pour la mise en œuvre du radier (avancée complémentaire à l'aval) sera effectué jusqu'à au plus 1 m de profondeur afin de se fonder sur le rocher. Le repiquage du béton sera ensuite effectué sur les surfaces de reprises de bétonnage (notamment sur le radier existant et sur le parement du barrage). Des armatures de coutures seront mises en œuvre entre l'ancien et le nouveau béton par scellement dans l'ancien béton. Un joint hydro-gonflant sera également positionné le long des reprises entre l'existant et l'ouvrage projeté.

Une fois ces travaux préalables réalisés, l'ouvrage pourra être construit. Les éléments sous le niveau des futurs caillebotis seront réalisés à l'exception du voile face aval (voile de support des vannes annulaires). Ce dernier sera réalisé dans un second temps lorsque les équipements seront posés et que les collerettes des vannes seront prêtes à être scellées dans le voile. Le bétonnage pourra se faire à l'aide d'une benne à béton ou d'une pompe à béton.



APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Le nouveau local présente une forte similarité avec la chambre existante comme explicité sur la figure ci-dessous, mais il présente les améliorations suivantes :

- En rive droite, il y aura une porte et une ouverture avec une grille permettant l'équilibre des pressions hydrostatiques au-delà d'un certain niveau d'eau dans le bassin de dissipation ;
- La dalle de couverture est équipée d'une « casquette » au-dessus des deux portes pour protéger des écoulements d'eau en surverse du barrage lors de l'accès au local technique. La dalle présentera une pente de 1% comme pour le local actuel afin d'évacuer les eaux de ruissellement. La hauteur sous dalle à l'intérieur du local sera constante (de 2.45 m) ;
- La dalle de couverture comporte deux ouvertures avec trappes boulonnées pour permettre l'enlèvement des éléments de vantellerie ;
- Mise en place de treuils monorail (sans commande électrique du fait du caractère inondable de la chambre).

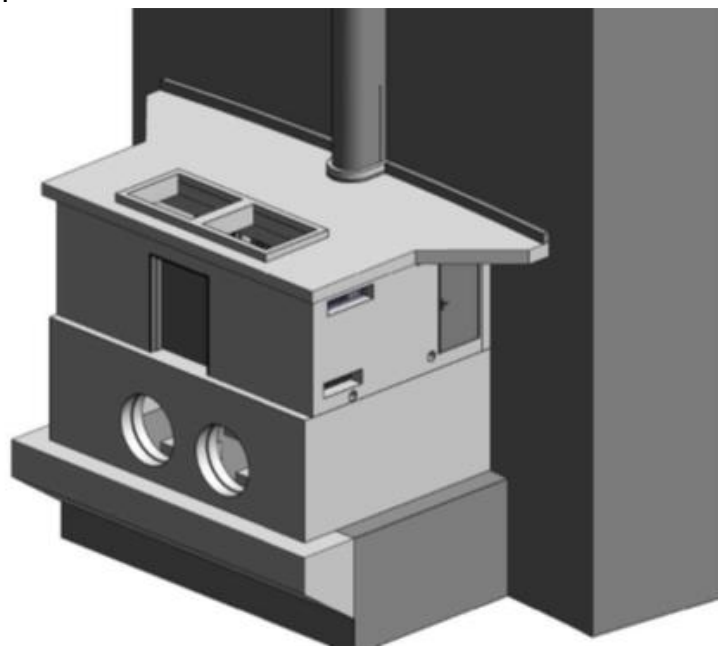


Figure 7 : Vue du local après travaux [Réf 4]

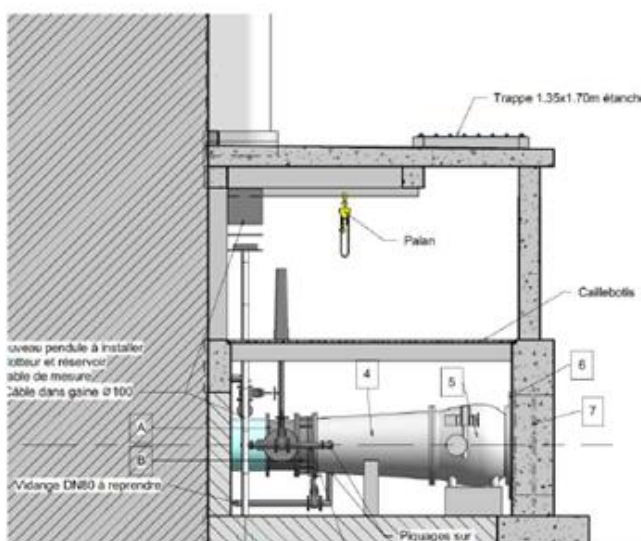


Figure 8 : Treuil monorail [Réf 4]



3.1.2.4 Massif de butée rive droite

ETAT EXISTANT

Le massif de butée situé en rive droite et en aval du barrage est composé en partie de béton armé. En pied, contre la voûte du barrage, une partie de la structure béton du massif repose sur la roche sub-affleurante. Plus à l'aval, le pied est renforcé par une structure massive en béton.

La partie basse du massif de butée que l'on observe sous le cheminement piéton présente donc une double structure composée :

- A l'amont d'un substratum rocheux recouvert d'une couche de béton armé ;
- A l'aval d'un bloc de béton recouvert de la même couche de béton armé.

La couverture bétonnée présente de nombreux désordres (fissures notamment).

La partie haute du massif, en béton armé également, est marquée par la présence d'épaufrures.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Après les travaux, le massif de butée en rive droite du barrage des Cambous aura subi les opérations suivantes :

- La réalisation de forages/injection de **consolidation** ayant pour objectif de traiter les vides présents sous la couverture béton ;
- La réalisation de forages/injections **d'étanchéité** de la rive droite, en commençant par la ligne amont située sous la voûte ;
- La réalisation de 4 forages à travers le massif consolidé faisant office de drains longs et descendants. Ces forages draineront les circulations aquifères résiduelles entre le béton et le substratum rocheux.
- La mise en œuvre de treillis soudés et de béton projeté d'épaisseur 30 cm sur la partie basse du massif de butée existant afin de le consolider et de le protéger des agressions liées au jet d'eau provenant de la surverse du barrage ;
- Le nettoyage et l'injection des fissures, situées sur la partie de massif au-dessus du trottoir de cheminement ;
- La réparation des épaufrures, situées sur la partie de massif au-dessus du trottoir de cheminement.

Ces aménagements permettront de répondre à l'ensemble des causes de dégradations du massif. En sus de ces aménagements, un escalier sera mis en œuvre au droit du massif afin de permettre d'accéder à la future chambre aval par la rive droite, sans devoir passer par la galerie de l'ouvrage. Ces escaliers seront équipés d'une main courante.

Les figures ci-dessous présentent la solution de confortement de la carapace du massif de butée :



COUPE SUR MASSIF DE BUTEE

Echelle 1/100

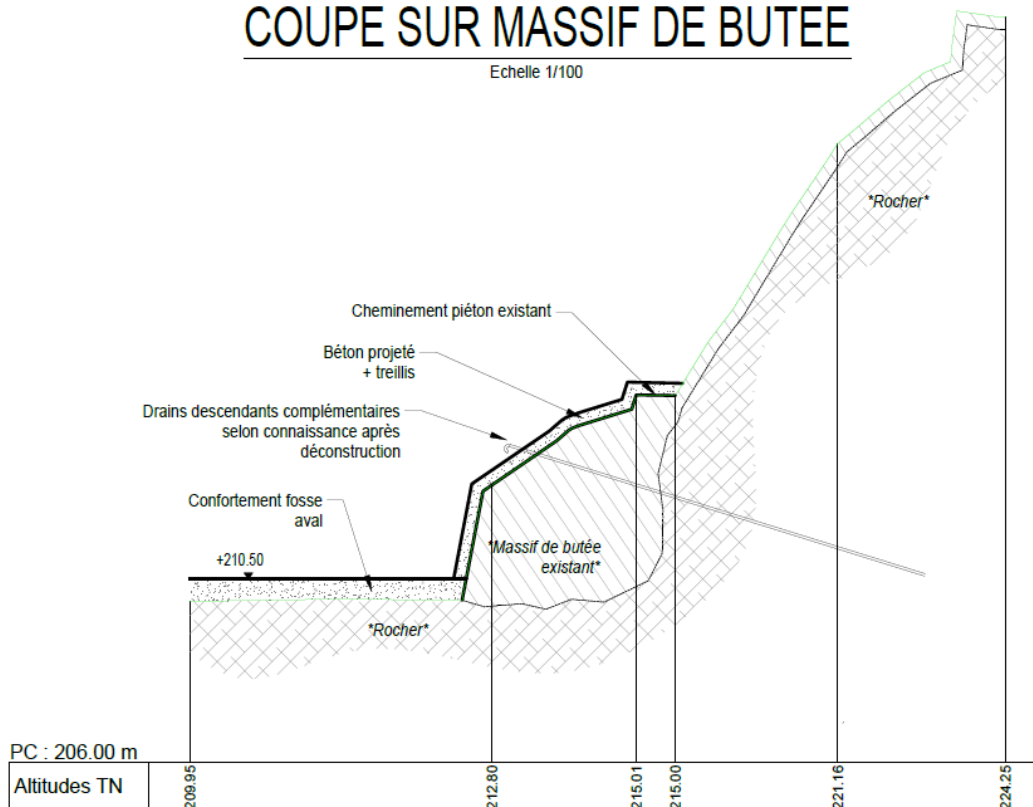


Figure 9 : Confortement du massif de butée rive droite après travaux, vue en coupe [Réf 4]

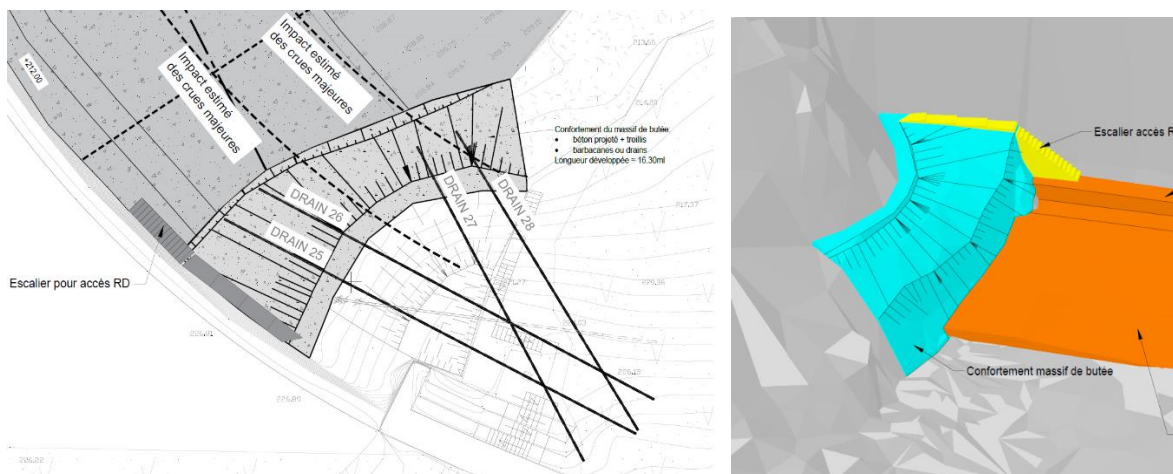


Figure 10 : Confortement du massif de butée rive droite envisagé, vue en plan et vue 3D [Réf 4]

3.1.2.5 Fosses

3.1.2.5.1 Fosse aval rive gauche

ETAT EXISTANT

La fosse aval en rive gauche est protégée en surface par une carapace en béton.



Cette carapace a été réalisée en 1960. Elle est donc postérieure à la crue de 1958 (550 m³/s) et antérieure à celle de 1977 (240 m³/s). Elle ne présente pas de dommages significatifs (arrachement de plaque, fracturation ...) suite à la seule crue significative (1977).

Les photographies ci-dessous présentent la carapace.



Figure 11 : Carapace en aval rive gauche de l'ouvrage



Figure 12 : Fosse aval rive gauche

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Après les travaux, la fosse aval rive gauche aura subi les opérations suivantes :

- Déconstruction du cheminement piéton existant présent dans l'emprise du tapis existant ;
- Réalisation d'une nouvelle carapace en béton coulé en place sur le tapis existant, d'une épaisseur de 30 cm ;
- Nettoyage et prolongement des barbacanes existantes ;



- Prolongement des têtes de drains existants pour qu'ils puissent s'intégrer à la surépaisseur de béton de la nouvelle carapace ;
- Reprise du cheminement piéton déconstruit en l'adaptant à la nouvelle géométrie de la zone.

Par ailleurs, ce tapis RG permettra l'intégration et la protection d'un certain nombre d'équipements d'auscultation tels que drains existants, futur collecteur et cellules de pression interstitielle.

3.1.2.5.2 Fosse aval rive droite

ETAT EXISTANT

Contrairement à la zone aval rive gauche du barrage, la fosse aval rive droite n'est pas protégée mécaniquement par un tapis en béton armé.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Une purge superficielle des alluvions au droit de la zone où le confortement sera mis en œuvre sera effectuée pendant les travaux. Cette purge et la préparation de la fondation subséquente devront être de qualité afin de répondre pleinement à l'enjeu sûreté inhérent à la mise en place du confortement.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Un confortement de la fosse aval rive droite afin de compléter le tapis béton déjà existant en rive gauche est nécessaire pour palier le risque d'érosion au pied du barrage. Le tapis béton permettra, en plus de conforter la fosse aval, l'intégration et la protection d'un certain nombre d'équipements d'auscultation tels que drains et collecteur. Il permettra également la circulation tout le long du parement aval du barrage et l'accès à la rive droite (via les escaliers) sans passer par la galerie de visite.

Ainsi, à l'issue des travaux de sécurisation du barrage des Cambous, la fosse aval rive droite aura subi 2 opérations principales :

- La purge et déroctage superficiels ;
- La mise en œuvre d'une dalle en béton armé d'une épaisseur de 60 cm ancrée dans le substratum rocheux par des barres.

3.1.2.6 Reprise de divers désordres soulignés depuis la précédente EDD

Des travaux de réparation sur plusieurs désordres mineurs (épaufures) sont également prévus sur le barrage. Ces désordres ont été repérés lors de l'Examen Technique Complet (ETC) de 2012.

Ils sont localisés sur le massif en rive gauche et sur la cheminée aval. Les désordres seront réparés par repiquage, brossage des éléments désolidarisés, nettoyage et comblement à l'aide d'un mortier de réparation.

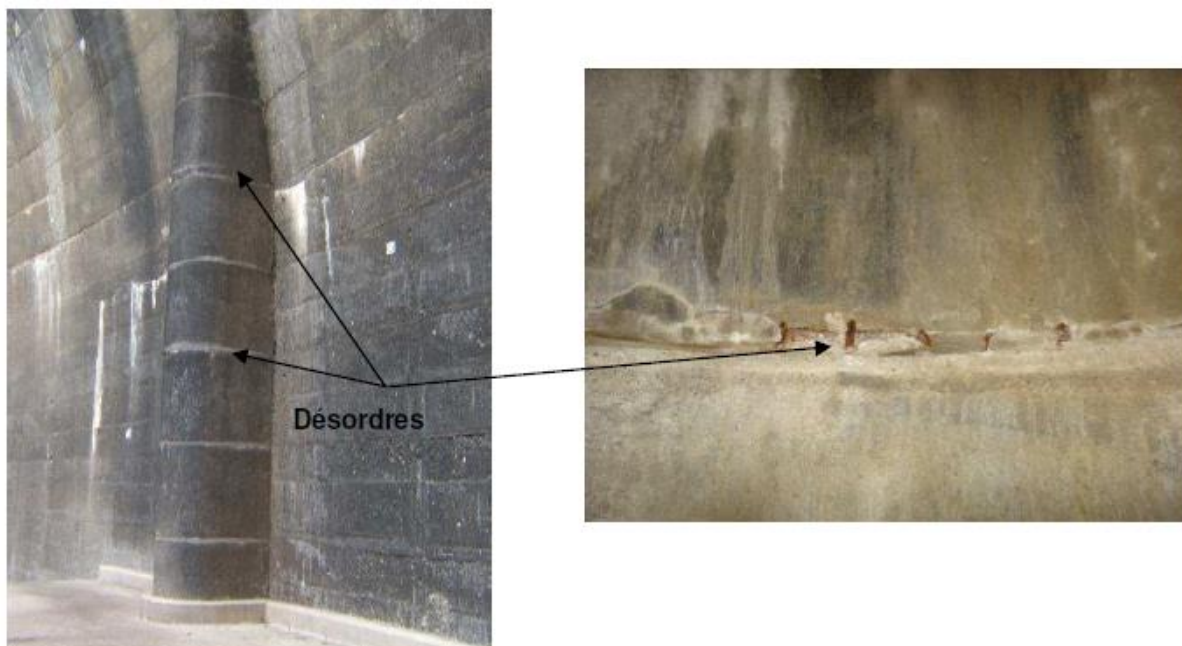


Figure 13 : Photos de l'ETC de 2012 des désordres sur la cheminée aval vue de l'extérieur et de l'intérieur [Réf 4]



Figure 14 : Photos récentes des désordres sur le massif rive gauche [Réf 4]

3.1.3 Description des fondations

3.1.3.1 Géologie du site

La vallée du Gardon d'Alès est creusée, au droit du site, dans des schistes parfois feldspathiques, peu inclinés, plongeant légèrement vers l'aval. La présence ou l'absence d'yeux feldspathiques est très irrégulière ce qui traduirait une alternance de lits de composition différente de la roche sédimentaire ultérieurement métamorphisée, dont la stratification serait très voisine de la schistosité, mais non tout à fait confondue avec elle.



3.1.3.2 Géologie de la fondation du barrage

ÉTAT EXISTANT

En dehors du lit alluvionnaire au droit du lit du Gardon, les formations rocheuses recoupées par les sondages se classent géologiquement dans les formations para-métamorphiques des séries Précambriennes du Plateau des Cévennes.

Dans l'ensemble, étant donné la présence de nombreuses et épaisses veines de quartz dur et compact dont ils sont le siège, ces micaschistes paraissent être issus d'une zone de « moyen morphisme » où les tensions et températures qui leur ont donné naissance ont joué un rôle assez important.

Ces considérations, ajoutées à des phénomènes d'origine tectonique, peuvent expliquer la structure particulièrement fissurée et friable de ces micaschistes.

L'examen des carottes extraites des sondages a fait apparaître par endroits une altération intense de la roche.

A noter que les micaschistes altérés ou décomposés occupent un espace assez important sur la rive gauche. Quelques zones de moindre importance existent également sur la rive droite.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Une reconnaissance du fond de la fosse aval et une étude géotechnique de type G3 au sens de la norme NFP 94-500 de novembre 2013 comprenant des sondages carottés et des reconnaissances géophysiques sera réalisée pendant la phase travaux afin de déterminer notamment :

- La nature du fond de la fosse et l'épaisseur des alluvions (s'il y en a) ;
- D'affiner les solutions de confortement de la fosse aval et du massif de butée ;
- L'épaisseur du radier ;
- La profondeur du substratum au niveau de la fosse aval.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

3.1.3.3 Etanchéité des fondations

ÉTAT EXISTANT

L'étanchéité de fondation a été réalisée au moyen d'un voile d'étanchéité et d'injection de collage.

Les forages sont dans le plan du barrage selon un rayon de courbure de 51° et verticaux.

La profondeur des forages est de 20 m environ.

Le voile d'injection a été réalisé en 2 phases :

- Forages primaires espacés de 11 m ;
- Forages secondaires intermédiaires, tous les 11 m à l'intérieur de la ligne des forages primaires.



PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Les travaux de confortement du massif de butée rive droite vont nécessiter la réalisation de forages/injections d'étanchéité afin de limiter les circulations d'eau au moment des injections de consolidation.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Ces injections d'étanchéité, s'apparentant davantage à une disposition constructive travaux, vont légèrement améliorer le niveau d'étanchéité dans cette zone RD.

3.1.4 Description du système de drainage

ETAT EXISTANT

Non drainée lors de la construction en 1957, la fondation aval, a par la suite, été équipée de 52 drains verticaux de 7 à 10 m de profondeur. Un tapis en béton armé ancré et perforé de barbacanes a également été réalisé en rive gauche pour protéger le rocher de la zone d'impact de la lame déversante après la rupture du barrage de Malpasset.

Ces forages ont été débouchés en 2003 par hydrojetting remontant sur une profondeur de 7 m. A cela se sont ajoutés 20 nouveaux drains d'une profondeur de 10 à 25 m et d'un diamètre de 50 mm. Une quarantaine de forages de décompression (dont les 20 nouveaux) ont été équipés de tubes coudés en partie supérieure afin de protéger les têtes de forages de la lame déversante.

Depuis 2003, le barrage des Cambous est donc équipé de 20 drains, dont le comportement est mesuré soit à la sonde (en partie centrale du barrage notamment), soit en débit (au niveau des rives notamment).

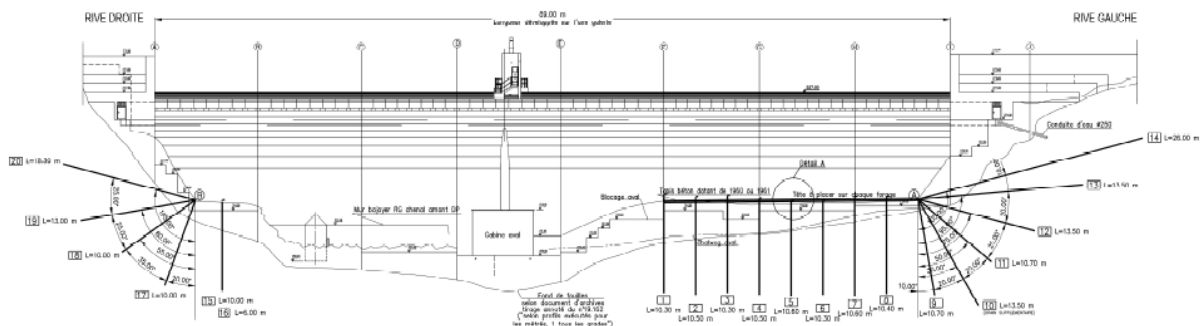


Figure 15 : Localisation de l'implantation des drains

Les débits analysés sont :

- En rive droite, par cumul des drains :
 - En culée RD (17 à 20) ;
 - Entre les joints A et B (15 et 16) ;
- En rive gauche, par cumul des drains :
 - En culée RG (11 à 14) ;
 - Entre les joints H et I (9 et 10) ;
 - Entre les joints G et H (5 à 8) ;
 - Entre les joints F et G (2 à 4) ;
 - Entre les joints E et F (1).



Figure 16 : Têtes de drains existants

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

D'une part, un réseau de drains complémentaires va être mis en place :

- Quatre drains complémentaires de diamètre DN100 et d'une dizaine de mètres de longueur vont être mis en place en rive droite au niveau de la fosse du barrage. Ces drains seront intégrés dans le confortement de la fosse aval en rive droite, leur débit transitera jusqu'à la chambre aval à l'aide d'un collecteur ;
- Quatre drains longs descendants interceptant les plans identifiés dans la note de stabilité [Réf 5] compléteront le dispositif existant au niveau du massif de butée. Le positionnement de ces drains sera affiné au moment des travaux sur le massif de butée et plus particulièrement au moment de sa déconstruction partielle. Ils seront mis en place au droit des zones de résurgences constatées avant travaux, pour laisser l'eau s'écouler. Ils présenteront un exutoire en col de cygne en acier galvanisé orienté vers l'aval (orientation favorable vis-à-vis de la lame déversante) ;
- Il est à noter que les drains déjà existants seront également adaptés, les têtes des drains seront surmontées par des bouchons verrouillables avec filetage. La nouvelle configuration ne permettra plus la mesure individuelle des débits. En revanche, dans le cas de drains non débitants, la mesure individuelle en piézométrie restera possible ;

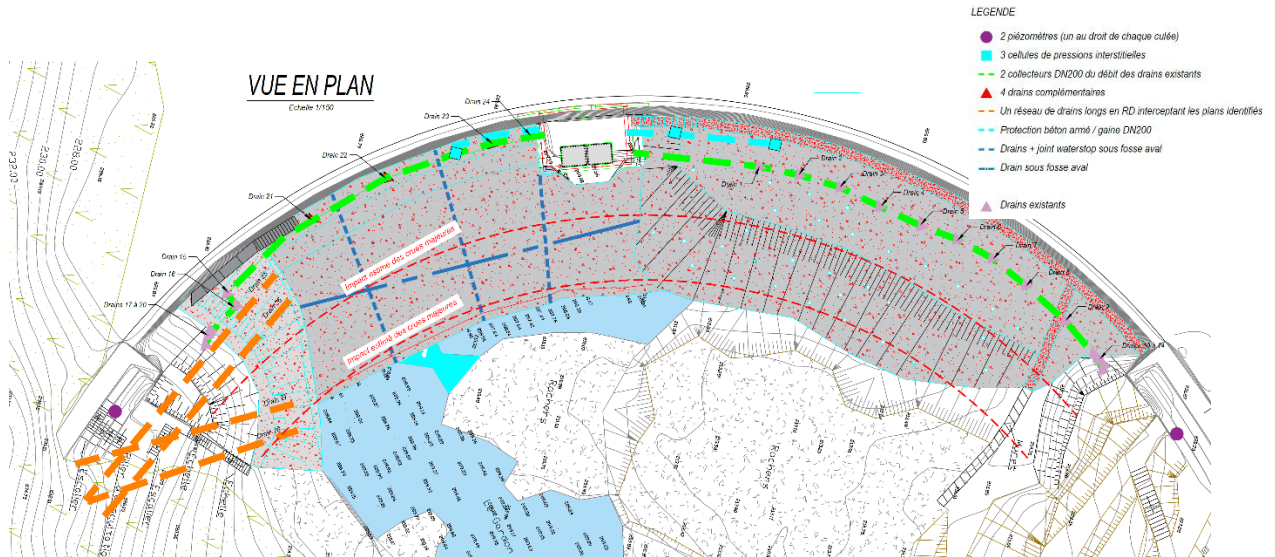


Figure 17 : Implantation du système de drainage après travaux [Réf 4]

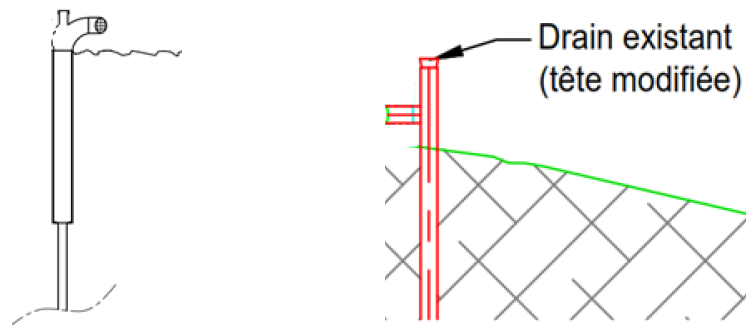


Figure 18 : Représentation avant travaux/après travaux des drains [Réf 4]

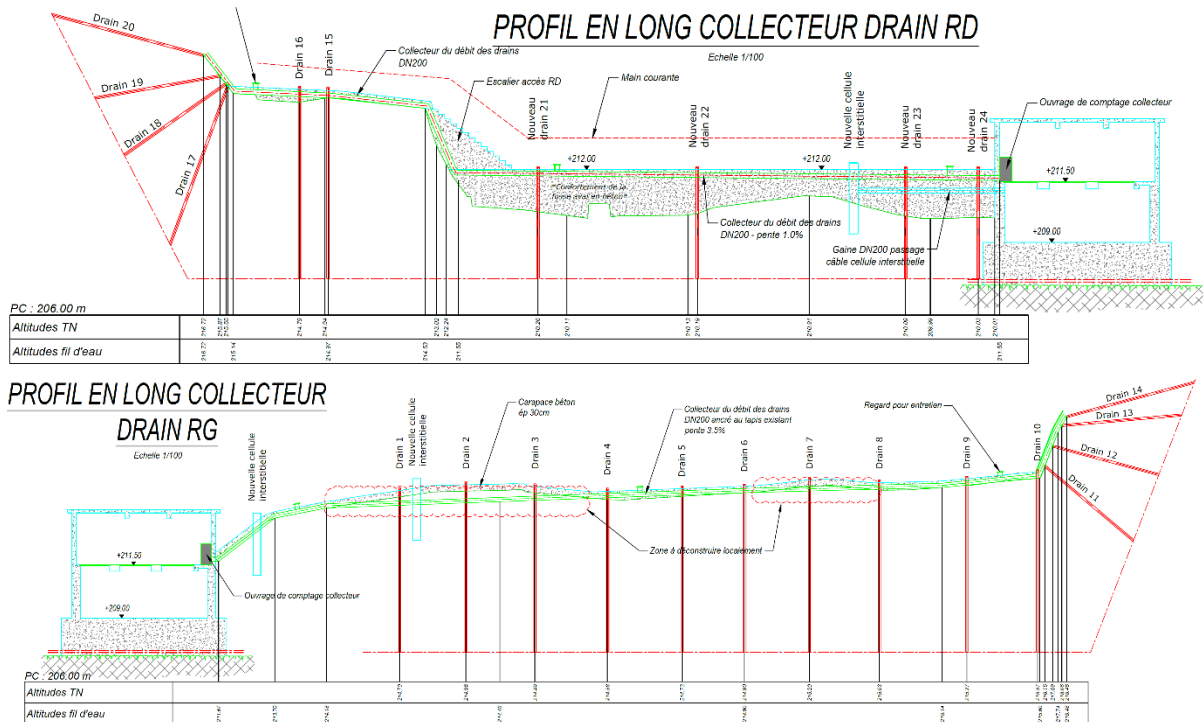


Figure 19 : Coupe sur drains complémentaires et nouveaux collecteurs en rive droite et gauche [Réf 4]



D'autre part, deux collecteurs de drains constitués d'une conduite acier DN200 seront mis en place afin de faire transiter un débit maximal de l'ordre de 5 à 10 L/min chacun jusqu'à la cabine aval :

- Côté rive gauche de la chambre aval :
 - La conduite sera placée à l'intérieur de la surépaisseur de 30cm de béton prévue sur la carapace existante et permettra, moyennant la reprise des têtes de drains existants, de collecter les débits de drainage des dispositifs situés sur la fosse aval RG ;
 - La conduite sera prolongée le long du massif de butée RG afin d'intégrer également les débits de drainage des dispositifs situés sur le massif de butée. Cette portion de conduite sera ancrée dans le massif de butée RG et sera protégée mécaniquement contre la surverse et le risque de chutes d'embâcles par une protection en béton armée. Les têtes de drains existants devront également être reprises en conséquence ;
- Côté rive droite :
 - La conduite sera noyée dans le béton du confortement de la fosse aval et recueillera les débits de drainage des nouveaux dispositifs ;
 - La conduite sera prolongée le long du massif de butée RD afin d'intégrer également les débits de drainage des dispositifs situés sur le massif de butée. Cette portion de conduite sera :
 - Noyée dans la future carapace du massif de butée RD ;
 - Ancrée dans le massif de butée RD et protégée mécaniquement contre la surverse et le risque de chutes d'embâcles par une protection en béton armée.
 Les têtes de drains existants devront également être reprises en conséquence.

Enfin, les deux ouvrages (un par rive) de comptage du débit seront de type « déversoir triangulaire en mince paroi », avec un demi-angle d'échancrure de $\text{tg } \frac{\theta}{2} = 1/8$ soit environ 7° . Cet ouvrage permettra de mesurer des débits de 0 à $7\text{m}^3/\text{h}$, plage de mesure suffisante au vu de la somme des débits mesurés actuellement de l'ordre de 10 L/min.

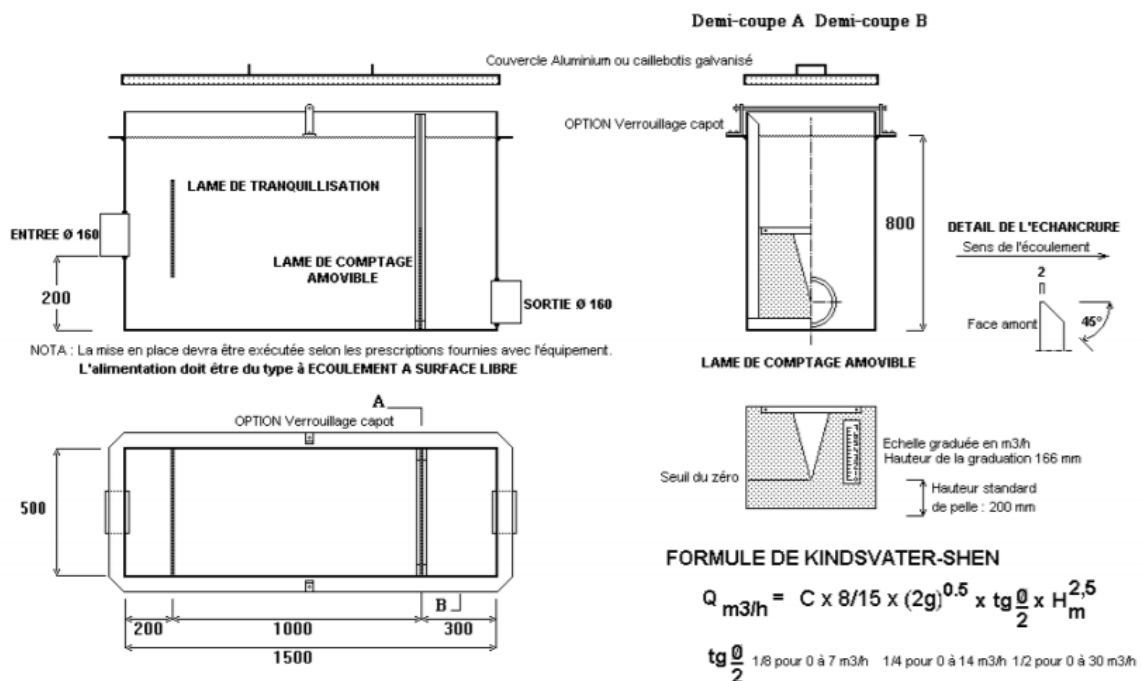


Figure 20 : Plan exemple bac avec déversoir triangulaire à paroi mince (Source : ABT)

Les sorties des bacs traverseront le mur et seront équipées d'un clapet anti-retour afin d'éviter les entrées d'eau.



3.1.5 Description de la vantellerie

La présente section donne une description des organes de la vantellerie existants sur le barrage des Cambous (conduites, vannes, équipements auxiliaires) intégrant les caractéristiques suivantes :

- le type d'équipement ;
- leur mode de fonctionnement ;
- leur emplacement dans l'ouvrage.

L'ouvrage de vidange et de restitution sont en DN700 et sont équipés d'une réduction en DN600 pour l'ouvrage de vidange et d'une réduction en DN350 pour l'ouvrage de restitution.

Actuellement les ouvrages de restitution et de vidange possèdent un débit cumulé maximum à pleine charge estimé à $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (4 +1,4). Cependant ce débit n'est pas suffisant pour permettre une vidange de la retenue selon les périodes de l'année. En effet, d'après l'analyse des débits moyens mensuels (estimation) apportés par le barrage de Sainte Cécile d'Andorge à la retenue des Cambous, les vannes ne sont pas en mesure de vider le barrage dans les cas où le débit moyen mensuel est supérieur au débit de $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$, soit lors des mois où le débit est surligné en rouge dans le tableau ci-dessous.

- Q moy : en janvier, novembre et décembre
- Q5 humide : en janvier, février, novembre et décembre
- Q10 humide : en janvier, février, mars, mai, octobre, novembre et décembre

Tableau 4 : Tableau des débits moyen mensuel apportés par le barrage de Sainte Cécile d'Andorge à la retenue des Cambous (Source : Etude BRLi - Stratégie de gestion de la ressource en eau face au changement climatique : Schéma Départemental du Gard "Eau et Climat 3.0)

Débit (m3/s)	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc	Annuel
Q moy	5,82	3,88	2,69	2,51	2,51	1,22	0,53	0,29	0,53	2,48	6,17	5,45	2,83
Q 5 hum	9,34	5,47	4,33	3,48	4,40	1,43	0,61	0,35	0,65	3,73	8,67	10,14	3,54
Q 10 hum	11,24	7,97	5,96	4,68	5,84	2,48	1,07	0,45	1,15	6,58	13,43	14,03	4,25

3.1.5.1 Dispositif de restitution

ÉTAT EXISTANT

Un organe de restitution de « faible débit » est positionné en partie centrale de l'ouvrage – plot DE- à la gauche immédiate de l'organe de vidange. Il comprend une prise à niveau variable, une conduite blindée de 0,7 m de diamètre, équipée d'une vanne de garde de type papillon à l'aval immédiat du corps du barrage, au niveau de la chambre des vannes, et d'une vanne de réglage à jet creux de 0,35 m de diamètre, positionnée à l'aval de la chambre. La vanne de garde permet notamment lorsqu'on la ferme d'intervenir sur la vanne de réglage.

La prise à niveau variable permet une prise des débits entre les cotes 220,5 et 227 mNGF, pour un débit maximal de $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ environ. Elle est composée d'un flotteur, d'une crépine, d'un mât de captage en DN 700, d'une bride de raccordement et d'un manchon souple. Son débattement est permis par un câble et un treuil de manutention.

La vanne de garde est maintenue fermée, la vanne à jet creux fermée (sauf en période de soutien d'étiage jusqu'au retour à la cote d'exploitation normale 227 mNGF et d'essais de manœuvre).



La manœuvre d'ouverture de la vanne de garde s'effectue après la mise à l'équilibre des pressions amont et aval, obtenue par l'intermédiaire d'un by-pass de remplissage de l'élément de tuyauterie compris entre la vanne papillon et la vanne à jet creux ou par l'intermédiaire de la conduite de remplissage en contact avec la retenue amont.

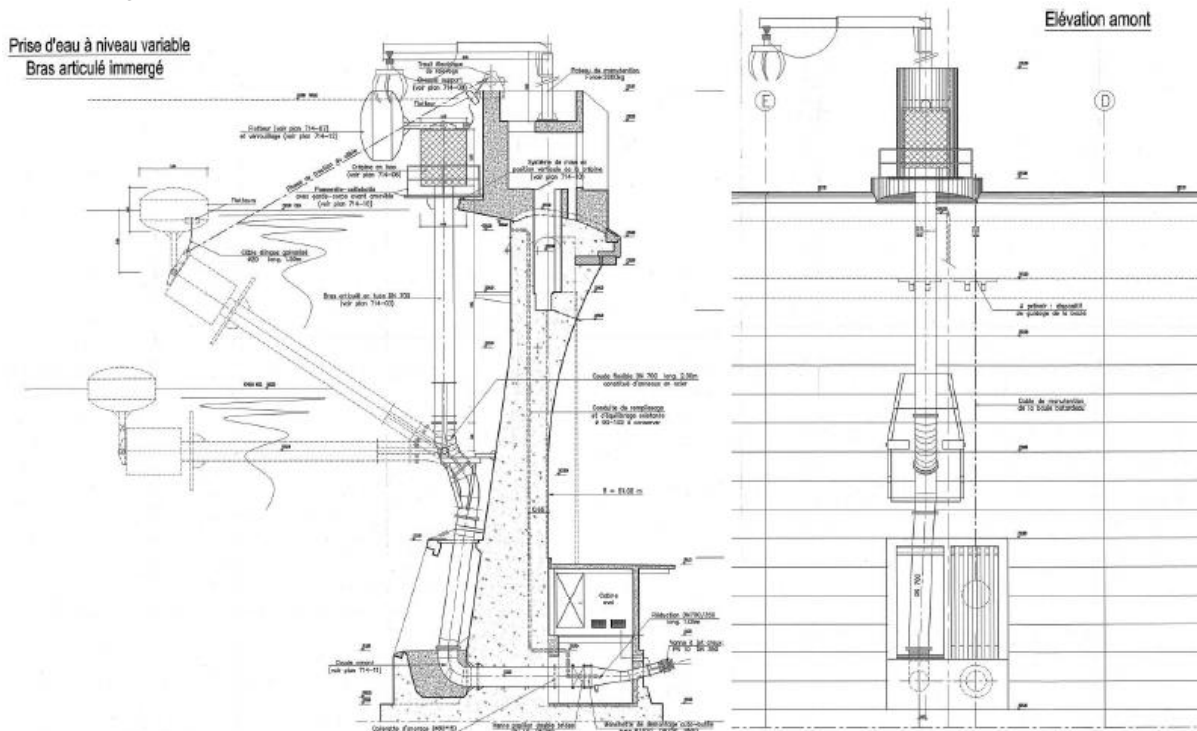


Figure 21 : Coupe et élévation du dispositif de restitution

Suite aux travaux des années 2002 / 2003, la tuyauterie et la robinetterie existantes ont été remplacées.

La conduite de restitution en acier de DN 700 aboutit à l'intérieur de la chambre de restitution aval et vient se raccorder à une vanne de garde de type papillon, de même diamètre. La commande de cette vanne est déportée au niveau supérieur situé à la cote 211.50 mNGF.

À l'aval de cette vanne, est disposée une manchette de démontage autobuté, un convergent DN 700 / DN 350, un coude avec un angle d'environ 15°, une longueur droite en DN 350 et une vanne à jet creux de même diamètre.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Nota : les modifications apportées aux conduites de restitution et de vidange ont pour but d'augmenter la capacité hydraulique de l'ouvrage de restitution à environ 8 m³/s contre 5,4 m³/s auparavant.

Dans le cadre du futur aménagement du local de restitution, la prestation comprendra toutes les sujétions liées aux travaux de dépose et d'évacuation des éléments de tuyauterie et de robinetterie disposés à l'aval de la manchette de démontage auto butée en DN 700.

On notera entre autres, après consignation :

- La vidange, le démontage, le découpage des tuyaux au chalumeau si nécessaire ;
- La manutention des éléments de tuyauterie par les trappes existantes dans la dalle supérieure avec utilisation de tout moyen de manutention nécessaire ;
- Toutes sujétions pour accès difficile et contraintes d'encombrement ;



- Toutes sujétions liées à la présence de canalisations et câbles en service dans l'embaras des travaux ;
- Le transport vers l'extérieur du local ;
- La reprise et la dépose sur un camion de chantier pour évacuation ;
- L'évacuation en décharge agréée.

Il est à noter que les tuyauteries de vidange et d'équilibrage (DN 80 à DN 100) seront à déposer partiellement puis à adapter sur les nouvelles tuyauteries. Le système de manœuvre de la vanne de garde sera également déposé.

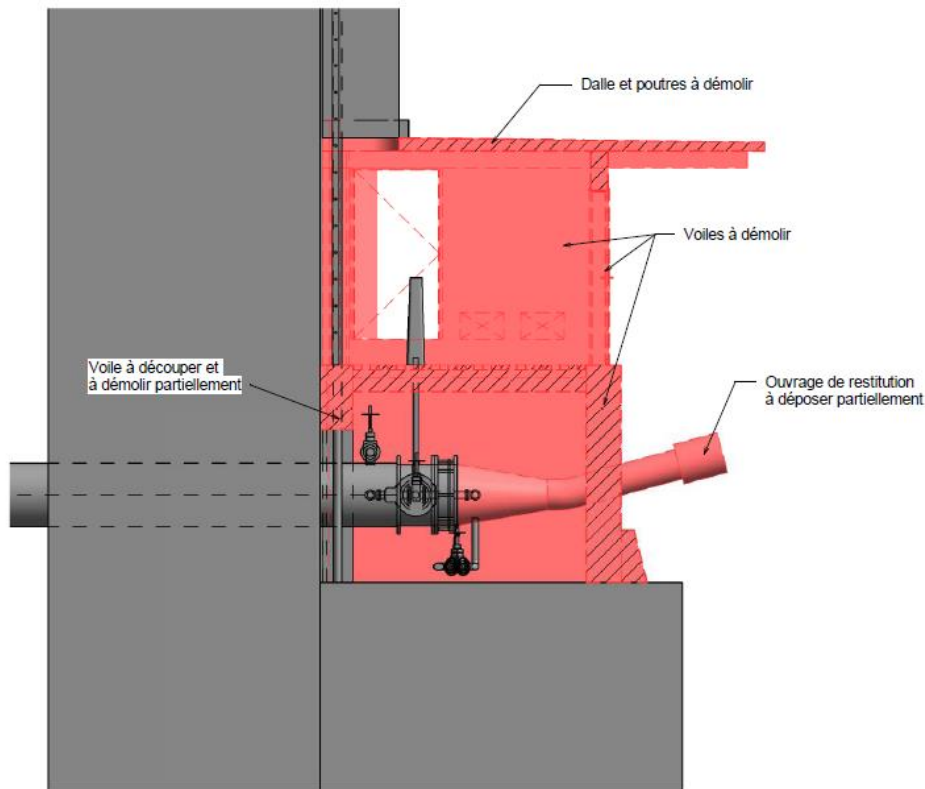


Figure 22 - Éléments à déposer sur la conduite de restitution

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Les travaux de renouvellement des équipements hydromécaniques comprennent :

- La fourniture et la pose d'un divergent à brides en DN 700 / DN 800 avec un angle de 8°. Il sera muni d'un piquage en DN 100 pour l'équilibrage et d'un piquage en DN 80 pour la vidange ;
- La fourniture et la pose d'un débitmètre électromagnétique en DN 800 avec convertisseur déporté en tête de la galerie ;
- La fourniture et la pose d'un divergent à brides en DN 800 / DN 900 avec un angle de 8° ;
- La fourniture et la pose d'une vanne annulaire motorisée en DN 900 avec commande déportée en tête de la galerie ;
- La fourniture et la pose d'une bride d'adaptation entre la vanne et la manchette ;
- La fourniture et la pose d'une manchette à brides en DN 1300 avec collerette d'ancrage à sceller dans le voile aval en béton armé.



Les pièces de tuyauterie seront en acier et revêtues d'une protection par peinture époxy.

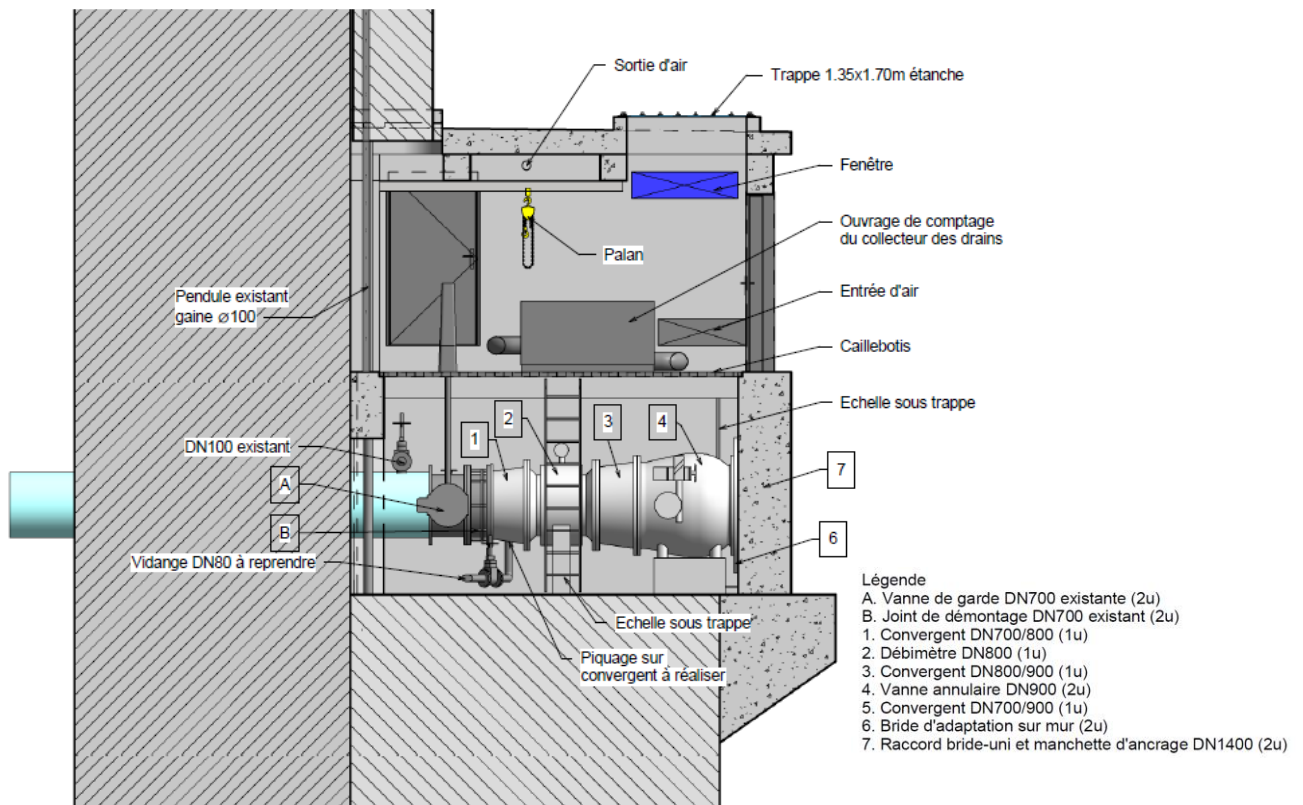


Figure 23 – Nouveaux équipements à installer sur le circuit de restitution

La trajectoire du jet en sortie de la vanne annulaire sera sensiblement modifiée (sortie horizontale). La dissipation de l'énergie continuera de se réaliser dans le bassin situé juste à l'aval de la cabine. Afin d'éviter toute usure prématurée de cette zone, le revêtement de cette dernière sera renforcé dans l'axe de la restitution des débits, sur le même principe et dans le prolongement du renforcement prévue pour la fosse aval rive droite (cf. §3.1.2.5).

3.1.5.2 Dispositif de vidange

ETAT EXISTANT

L'ouvrage est situé en partie centrale du barrage – plot DE. Il comprend une conduite blindée de 0,7m de diamètre, équipée d'une vanne de garde de type papillon à l'aval immédiat du corps du barrage, au niveau de la chambre des vannes, et d'une vanne de réglage à jet creux de 0,6 m de diamètre, positionnée à l'aval de la chambre. La vanne de garde permet notamment lorsqu'on la ferme d'intervenir sur la vanne de réglage. Le batardage de la conduite est possible par la mise en place d'une boule batardeau manœuvrable depuis la plateforme intermédiaire de la pile centrale.

L'axe de la conduite est calé à 210,00 mNGF. La chambre de manœuvre est accessible par l'intérieur depuis la galerie de visite ou par l'extérieur par le pied du barrage.

L'ouvrage est muni côté amont d'un seuil calé à 211,25 mNGF, limitant l'envasement de la conduite, ainsi que d'une grille à barreaux horizontaux en béton préfabriqué le protégeant contre les embâcles.

Depuis 2010, la vanne à jet-creux est équipée d'un capot de protection plein afin d'éviter que des embâcles ne se coincent dessous et gênent la manœuvre.



La capacité de la conduite de fond est fonction du niveau du plan d'eau et est de l'ordre $4 \text{ m}^3/\text{s}$ sous une cote de 227 mNGF .

La vanne de garde est maintenue fermée, la vanne à jet creux est maintenue fermée (sauf en cas de besoin de vidanger la retenue et d'essais de manœuvre).

La manœuvre d'ouverture de la vanne de garde s'effectue après la mise à l'équilibre des pressions amont et aval. Cet équilibre peut s'obtenir de 2 façons différentes :

- par l'intermédiaire d'un by-pass de remplissage de l'élément de tuyauterie compris entre la vanne papillon et la vanne à jet creux,
- par l'intermédiaire d'une conduite de remplissage qui remonte dans le corps du barrage et débouche au droit du parement amont, sous la pile, à la cote $226,25 \text{ mNGF}$.

De même le décollage de la boule batardeau s'effectue après la mise à l'équilibre des pressions amont et aval, obtenue par l'intermédiaire d'un second by-pass de remplissage de l'élément de tuyauterie compris entre la boule batardeau et la vanne papillon au moyen des eaux présentes dans la conduite de restitution.

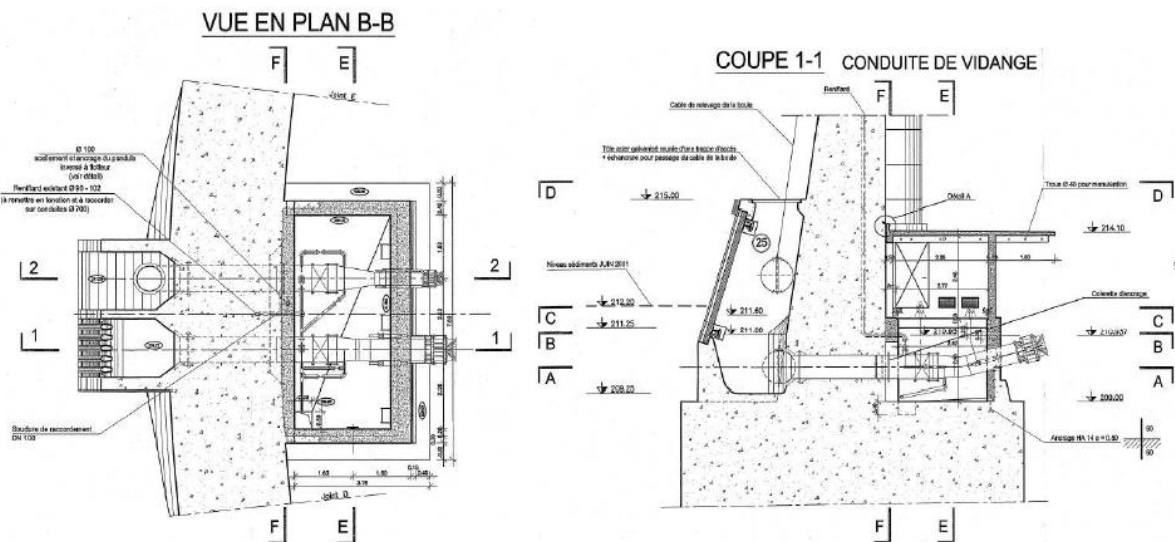


Figure 24 : Coupe et vue en plan du dispositif de vidange

À l'instar de la conduite de restitution, la conduite de vidange a fait l'objet d'un renouvellement dans les années 2002 / 2003.

La conduite de vidange en acier de DN 700 aboutit à l'intérieur de la chambre de restitution aval et vient se raccorder à une vanne de garde de type papillon, de même diamètre. La commande de cette vanne est déportée au niveau supérieur situé à la cote 211.50 mNGF .

À l'aval de cette vanne, est disposé une manchette de démontage autobuté, un convergent DN 700 / DN 600, un coude avec un angle d'environ 15° , une longueur droite en DN 600 et une vanne à jet creux de même diamètre.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Nota : les modifications apportées aux conduites de restitution et de vidange ont pour but d'augmenter la capacité hydraulique de l'ouvrage de restitution à environ $8 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$ auparavant.



Dans le cadre du futur aménagement du local de restitution, la prestation comprendra toutes les sujétions liées aux travaux de dépose et d'évacuation des éléments de tuyauterie et de robinetterie disposés à l'aval de la manchette de démontage autobuté en DN 700.

On notera entre autres, après consignation :

- La vidange, le démontage, le découpage des tuyaux au chalumeau si nécessaire ;
- La manutention des éléments de tuyauterie par les trappes existantes dans la dalle supérieure avec utilisation de tout moyen de manutention nécessaire ;
- Toutes sujétions pour accès difficile et contraintes d'encombrement ;
- Toutes sujétions liées à la présence de canalisations et câbles en service dans l'embarras des travaux ;
- Le transport vers l'extérieur du local ;
- La reprise et la dépose sur un camion de chantier pour évacuation ;
- L'évacuation en décharge agréée.

Il est à noter que les tuyauteries de vidange et d'équilibrage (DN 80 à DN 100) seront à déposer partiellement puis à adapter sur les nouvelles tuyauteries. Le système de manœuvre de la vanne de garde sera également déposé.

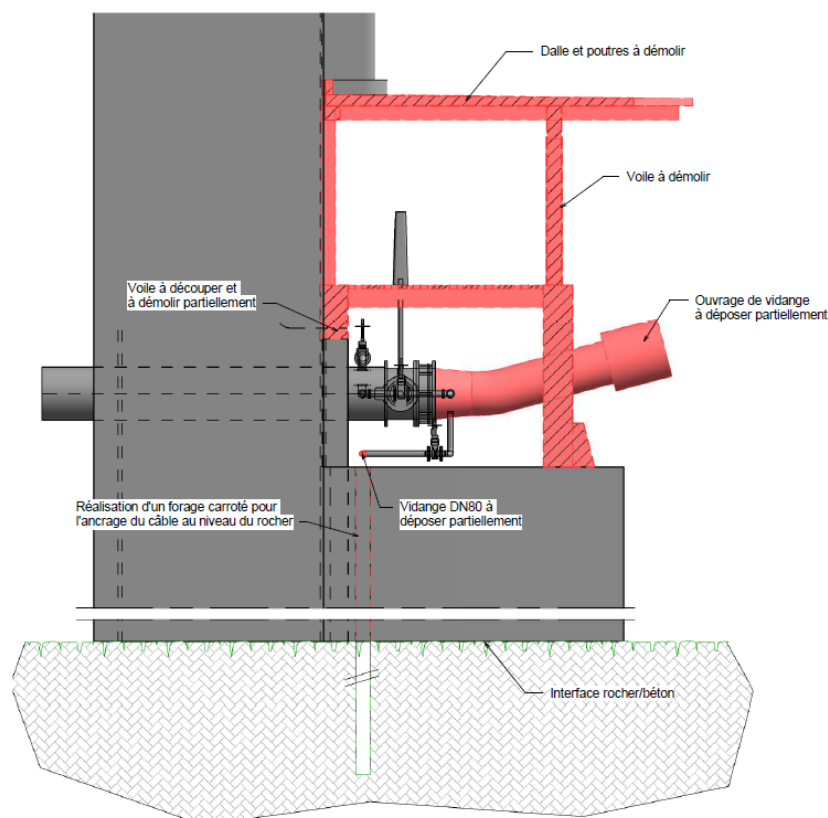


Figure 25 - Éléments à déposer sur la conduite de vidange

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Après les travaux de sécurisation du barrage des Cambous, la capacité du dispositif de vidange sera augmentée, via :



- La fourniture et la pose d'une longueur droite à brides en DN 700. Elle sera munie d'un piquage en DN 100 pour l'équilibrage et d'un piquage en DN 80 pour la vidange ;
- La fourniture et la pose d'un divergent à brides en DN 700 / DN 900 avec un angle de 8° ;
- La fourniture et la pose d'une vanne annulaire motorisée en DN 900 avec commande déportée en tête de la galerie ;
- La fourniture et la pose d'une bride d'adaptation entre la vanne et la manchette ;
- La fourniture et la pose d'une manchette à brides en DN 1300 avec collerette d'ancrage à sceller dans le voile aval en béton armé.

Les pièces de tuyauterie seront en acier et revêtues d'une protection par peinture époxy.

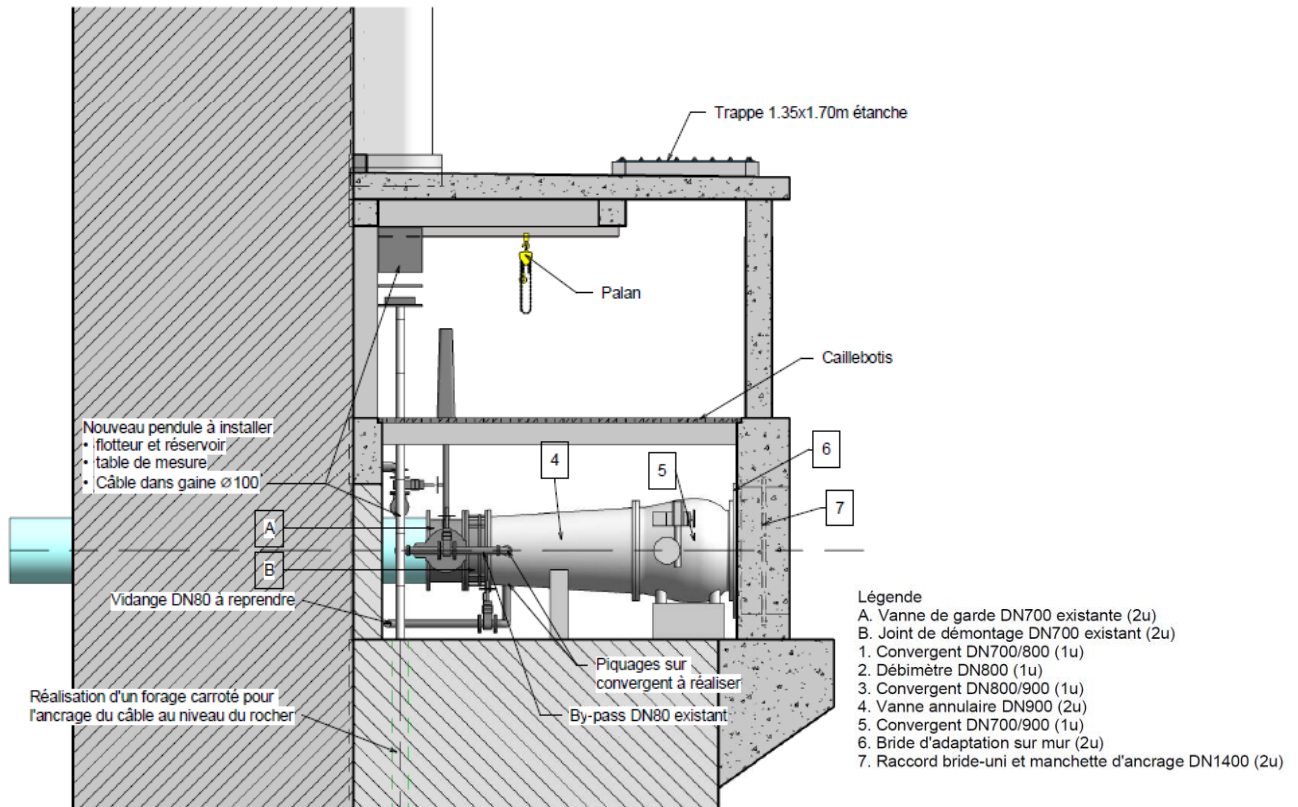


Figure 26 - Équipements à installer sur le circuit de vidange

3.1.6 Ouvrages annexes

3.1.6.1 Galerie de visite dans le barrage

ÉTAT EXISTANT

Le barrage est traversé de rive à rive par une galerie qui permet d'accéder à :

- une cheminée d'accès à la pile centrale pour manœuvrer la prise à niveau variable, la boule batardeau de l'organe de vidange ou le grappin ;
- un puits d'accès à la chambre des vannes située à l'aval immédiat du barrage, également accessible depuis le pied du barrage, en rive gauche, sauf en cas de déversement ;
- la rive droite pour pouvoir inspecter notamment l'échancrure du déversoir ;



- aux dispositifs d'auscultations (pendule, vinchons).

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

3.1.6.2 Grappin de manutention

ETAT EXISTANT

Un grappin de manutention est disposé sur la plateforme supérieure de la pile et permet de désencombrer l'entonnement du dispositif de vidange, de manutentionner la boule batardeau, d'enlever les corps flottants et d'intervenir sur le bras mobile en cas de besoin (secours).

La commande électrique s'effectue également depuis la plateforme de la pile.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

3.1.6.3 Eclairage

ETAT EXISTANT

Un projecteur 1500W amovible est présent sur le barrage, dans la galerie de visite. Ce projecteur peut être mis en place en deux emplacements situés sur la culée rive gauche et qui permettent d'éclairer le parement amont et le parement aval.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

3.1.7 Description générale de l'alimentation électrique

L'objectif de la présente section est de présenter l'alimentation en énergie électrique du barrage des Cambous (normale et secourue).

ETAT EXISTANT

Le barrage est alimenté par une ligne aérienne basse tension 400 V.



À l'aval du disjoncteur d'arrivée, la distribution électrique se poursuit à l'intérieur de la galerie du barrage pour aboutir dans un coffret de distribution. Ce coffret est protégé en tête par un disjoncteur triphasé + neutre de calibre 32 A associé à un différentiel de 300 mA.

À l'aval de ce disjoncteur, on retrouve les départs suivants :

- Circuit d'éclairage protégé par un disjoncteur 10 A ;
- Circuit prises de courant protégé par un disjoncteur 16 A ;
- Potence protégée par un disjoncteur triphasé + neutre 16 A ;
- Treuil protégé par un disjoncteur triphasé + neutre 16 A
- Pompe vide cave protégée par un disjoncteur 6 A ;

Le barrage ne dispose pas d'alimentation électrique de secours.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Dans le cadre du chantier et pour subvenir à tous les besoins des divers outillages, etc., il pourrait être envisagé :

- D'utiliser les coffrets électriques présents dans la galerie de visite du barrage afin d'alimenter les divers outillages en électricité ;
- De se raccorder directement au réseau EDF en fonction du positionnement de leurs réseaux ;
- Si ces solutions ne sont pas possibles, alors un groupe électrogène devra être utilisé.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

L'ajout de nouveaux équipements induit une augmentation de la puissance électrique qui sera consommée. Toutefois, au regard des éléments transmis par les fabricants de ces équipements, la puissance supplémentaire installée devrait être inférieure à 1 kW. **L'alimentation actuelle est suffisamment dimensionnée pour recevoir cette puissance supplémentaire.**

Le coffret électrique destiné à l'alimentation des nouveaux équipements du local de restitution sera protégé par un disjoncteur qui sera installé dans le coffret de distribution électrique existant (cf. figure ci-dessous). Un bornier sera également ajouté dans ce coffret pour raccorder le câble d'alimentation.

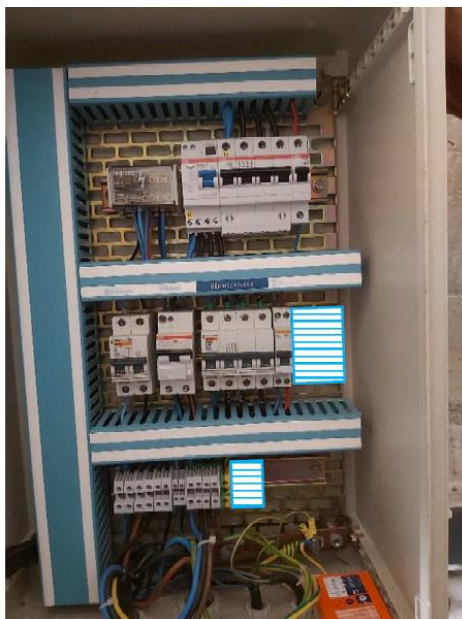


Figure 27 : Implantation du disjoncteur de protection du coffret de restitution [Réf 4]

Le nouveau coffret, appelé « coffret de restitution » sera installé en tête de la galerie à proximité du coffret de distribution.

Il assurera l'alimentation électrique des deux vannes annulaires et du débitmètre de restitution ainsi que le rapatriement de leurs informations et de leur commande.

Il se composera à l'intérieur de :

- Un interrupteur d'arrivée tétrapolaire ;
- Un ensemble disjoncteur moteur et contacteurs pour chaque vanne annulaire ;
- Un disjoncteur de protection pour le débitmètre ;
- Un disjoncteur de protection pour le récepteur radio de la télécommande industrielle ;
- Un disjoncteur de protection pour la commande ;
- Relayage éventuel ;
- Borniers de puissance et de commande ;

En face avant, il sera disposé :

- Un voyant de présence tension ;
- Un bouton d'arrêt d'urgence de type coup de poing ;
- Trois boutons poussoirs lumineux par vanne annulaire répartis comme suit :
 - De couleur verte pour la manœuvre d'« ouverture ». Lorsque le contact de fin de course « ouvert » est atteint le voyant s'allume ;
 - De couleur rouge pour l'« arrêt » de manœuvre. Lorsque la vanne est en défaut le voyant s'allume ;
 - De couleur bleue pour la manœuvre de « fermeture ». Lorsque le contact de fin de course « fermé » est atteint le voyant s'allume.

Nota : Les voyants « ouverture » et « fermeture » clignoteront pendant la phase associée du mouvement de la vanne.



Les câbles chemineront entre ce coffret et les équipements installés à l'intérieur du local de restitution en empruntant la galerie transversale puis la cheminée d'accès. Ils seront disposés à l'intérieur de chemins de câbles.

Des boîtes de jonction pourront être employées entre les équipements et le coffret de contrôle commande. Elles seront installées à l'extrémité supérieure de la cheminée d'accès, au droit de la galerie transversale.

3.1.8 Description générale du contrôle-commande

L'objectif de cette partie est de présenter de manière globale le contrôle-commande du barrage des Cambous.

ÉTAT EXISTANT

Actuellement, le barrage ne dispose d'aucun moyen de contrôle commande des équipements. Les manœuvres des vannes sont effectuées manuellement et la vérification de leur position est réalisée visuellement. Chaque vanne (papillon et jet creux) est manœuvrable à l'aide d'un volant de manœuvre, d'un arbre et d'une tige de renvoi de commande.

Le bras articulé de la prise à niveau variable se manœuvre au moyen d'un treuil électrique disposé au sommet de la pile, dont la commande s'effectue depuis un coffret électrique situé à proximité du treuil. Cette commande permet d'abaisser et de remonter la prise.

La pompe d'exhaure du local de restitution peut être commandée manuellement ou automatiquement via deux poires de niveaux « haut » et « très haut ».

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Les dispositifs déportés des équipements suivants seront installés à proximité du coffret de contrôle commande des vannes de restitution et de vidange :

- Commande déportée de l'actionneur électrique de chaque vanne ;
- Convertisseur de mesure du débitmètre électromagnétique du circuit de restitution ;
- Récepteur radio de la télécommande industrielle.

Ces dispositifs échangeront des informations avec le coffret de contrôle commande via des liaisons filaires.

Une radiocommande industrielle permettra la manœuvre locale des vannes depuis le local de restitution. Elle se composera d'un émetteur (la radiocommande) et d'un récepteur radio qui délivrera les ordres de manœuvre au coffret de contrôle commande des vannes.

L'ensemble sera livré avec un chargeur de batterie pour la radiocommande, une antenne extérieure à la galerie pour assurer un usage depuis le local de restitution ainsi que d'un klaxon qui sera installé au droit de la cheminée d'accès aval pour prévenir d'une manœuvre distante des vannes.

La radiocommande disposera de :

- Un commutateur à deux positions « local / radio » permettant de sécuriser le pilotage des vannes depuis la radiocommande. En position « radio », il ne sera alors plus possible de passer des ordres depuis les boutons du coffret de restitution. La radiocommande devenant prioritaire ;



- Deux boutons poussoirs non auto-maintenus pour l'ouverture et la fermeture de chaque vanne annulaire.



Figure 28 : Radiocommande industrielle et son récepteur

3.1.9 Description générale des télécommunications

L'objectif de la présente section est de présenter le système de télécommunication utilisé pour l'exploitation et la surveillance du barrage des Cambous.

ETAT EXISTANT

Le barrage des Cambous ne dispose pas de local de surveillance propre. Il dispose donc :

- pour les appels téléphoniques dans les galeries du barrage :
 - deux combinés situés dans l'ouvrage à chaque rive, et raccordés au réseau téléphonique RTC
- pour les appels téléphoniques externes:
 - couverture GSM avec un bon niveau sur toute la zone du barrage (couronnement, pied de l'ouvrage)
- pour les appels radio :
 - 1 voie radio (40 MHz) disponible dans chaque véhicule des surveillants de barrage, des surveillants suppléants et des cadres, en liaison avec la Maison du Département à Nîmes ;

Les organes de télécommunications du barrage de Sainte-Cécile d'Andorge peuvent également être utilisés pour le barrage des Cambous. Ils se situent dans le local de surveillance en rive gauche du barrage de Sainte Cécile d'Andorge, à environ 2 km par la route en amont du barrage des Cambous, à savoir :

- Pour les appels téléphoniques externes :
 - Ligne RTC raccordée au réseau de France Télécom (située dans le local de surveillance de Sainte Cécile d'Andorge) ;
 - Couverture GSM
- Pour les appels radio (située dans le local de surveillance de Sainte Cécile d'Andorge) :
 - 1 voie radio (40 MHz) disponible dans le local de surveillance de Sainte Cécile d'Andorge, en liaison avec chaque véhicule des surveillants de barrage, des surveillants suppléants et des cadres, ainsi qu'avec la maison départementale à Nîmes ;
 - 1 voie Radio du Réseau Dernier Secours (RRDS) ;
 - 1 voie radio avec le CODIS30 (Centre Opérationnel d'Incendie et de Secours).



PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

3.1.10 Description du dispositif d'auscultation

3.1.10.1 Composition du dispositif

Le dispositif d'auscultation du barrage est composé de plusieurs éléments énoncés ci-après.

3.1.10.1.1 Surveillance du comportement hydraulique

ETAT EXISTANT

Le barrage est équipé au total d'un réseau de 20 drains (14 en rive gauche et 6 en rive droite) dont les débits ou les niveaux piézométriques sont mesurés pour chaque dispositif, lorsque les conditions d'accès le permettent (barrage non déversant). A noter qu'une autorisation particulière, complémentaire au Règlement d'Eau, a été délivrée par le Service de la Police de l'Eau (DDTM30) en juillet 2012 pour pouvoir, trimestriellement, abaisser le plan d'eau jusqu'à la cote 226,85 mNGF et réaliser les mesures.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Deux piézomètres seront installés respectivement sur la culée rive gauche et la culée rive droite. Ces piézomètres pourront être lus soit à la sonde soit en pression (manomètre). Leur position (en hauteur) sur les culées permettra une lecture par tout temps en cas de déversement ou non. Un accès sécurisé est mis en place pour y accéder en toute sécurité. Leur profondeur sera identique aux dispositifs de drainage actuel avec un accès sécurisé.

D'autre part, trois cellules de pressions interstitielles à corde vibrante seront mises en place au niveau des plots centraux. Ce dispositif permettra de mesurer les sous-pressions au droit des plots de plus grandes hauteurs, cela permettra de compléter les données issues de l'auscultation des vinchons, des pendules et des campagnes topographiques et de vérifier l'absence de fissure amont.

Ainsi, après les travaux de sécurisation du barrage des Cambous, le dispositif de suivi du comportement hydraulique sera complété par la :

- Mise en place de 2 piézomètres (un au droit de chaque culée) ;
- Mise en place de 3 cellules de pression interstitielle ;
- Mise en place de 4 drains complémentaires en aval rive droite ;
- Mise en place de 4 drains supplémentaires de grande longueur dans le massif de butée rive droite ;
- Mise en place de deux collecteurs permettant de canaliser les débits de drainage jusqu'à la cabine aval ;



- Adaptation des têtes de drains existants.

3.1.10.1.2 Surveillance des déplacements et phénomènes géomécaniques

ÉTAT EXISTANT

Le barrage est équipé de 2 systèmes de mesure d'écartement de joints de type Vinchon (mesure X, Y, Z) au niveau des joints A, entre le barrage et la culée RD, et au niveau du joint I, entre le barrage et la culée RG.

Depuis 2003, un pendule inversé a également été installé. Cet instrument est positionné au niveau de la pile centrale, dans le puits en clé de voûte aval :

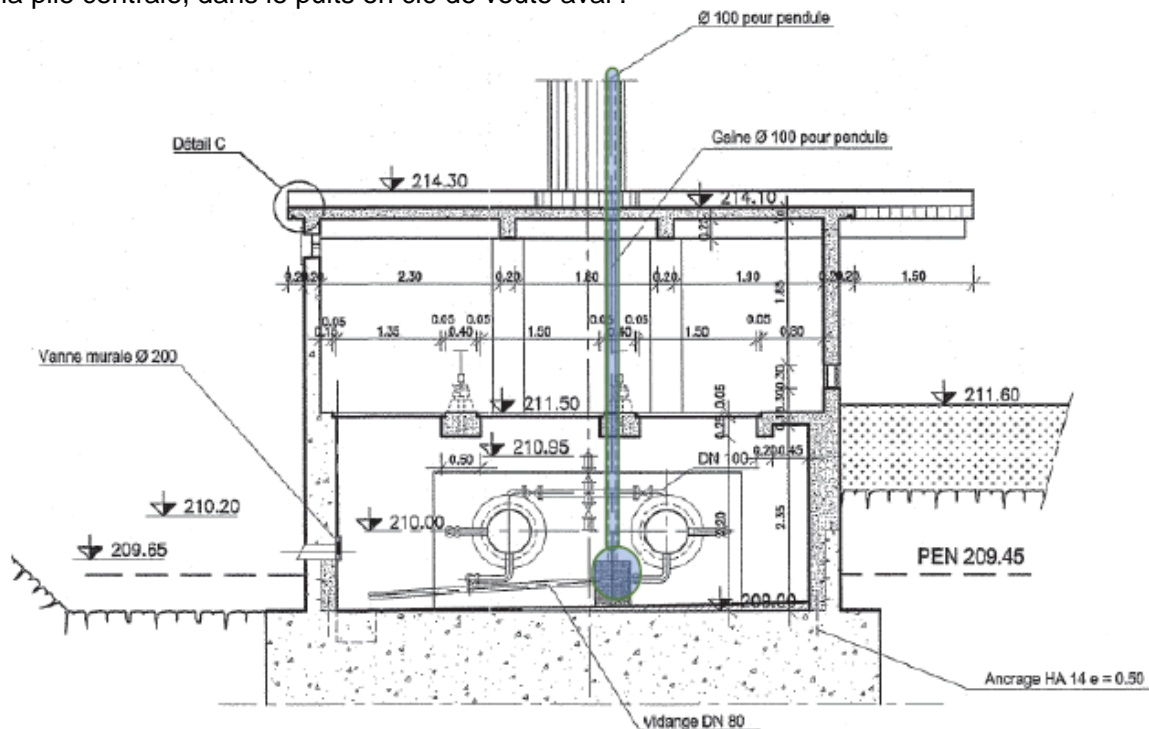


Figure 29 : Position du pendule inversé au niveau de la chambre des vannes

Le pendule inversé permet de mesurer le déplacement relatif (déplacement horizontal sur x et y) entre la crête du barrage et le pied du barrage.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Il est jugé nécessaire d'ajouter un deuxième pendule inversé, ancré dans le rocher dans le but de mesurer le déplacement absolu du barrage par rapport à sa fondation. La figure ci-dessous précise les différents éléments composant ce pendule inversé.

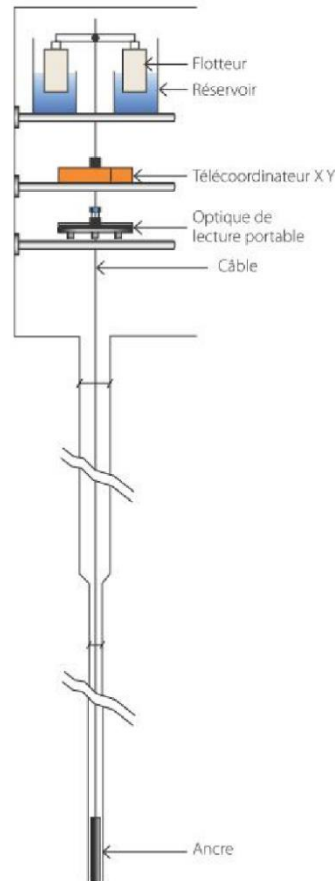


Figure 30 : Principe du pendule inversé

54

Le pendule inversé est donc composé de :

- Un flotteur en polypropylène et un réservoir d'eau. Les dimensions du réservoir sont généralement de l'ordre de 50x50x50 cm ;
- Un appareil de mesure électronique ;
- Un appareil de mesure manuel comportant une table et un support. (cf. figure ci-dessous) avec des dimensions de l'ordre de 50x50 cm.

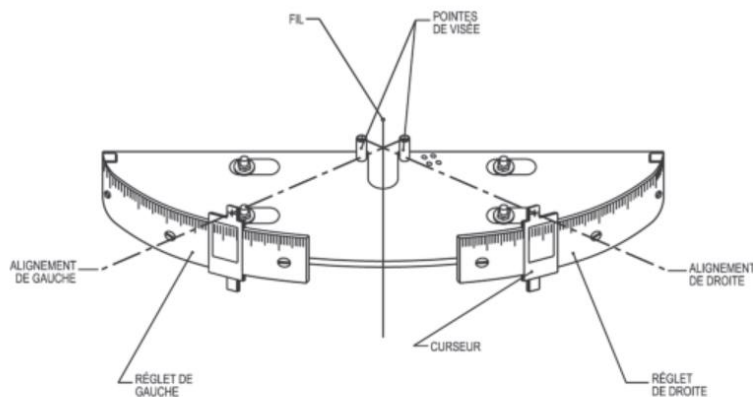


Figure 31 : Table de mesure

- Un fil tendu en acier inoxydable ;
- Un ancrage au niveau du rocher, nécessitant un forage carotté (dont les carottes seront récupérées afin de déterminer précisément la position de l'ancrage).

D'autre part, et afin de confirmer les mesures des vinchons actuels, deux nouveaux vinchons par rive seront mis en place entre le barrage et les culées à proximité de ceux déjà installés (Figure 32), soit au niveau des joints A, entre le barrage et la culée RD, et au niveau du joint I, entre le barrage et la culée RG (Figure 31).

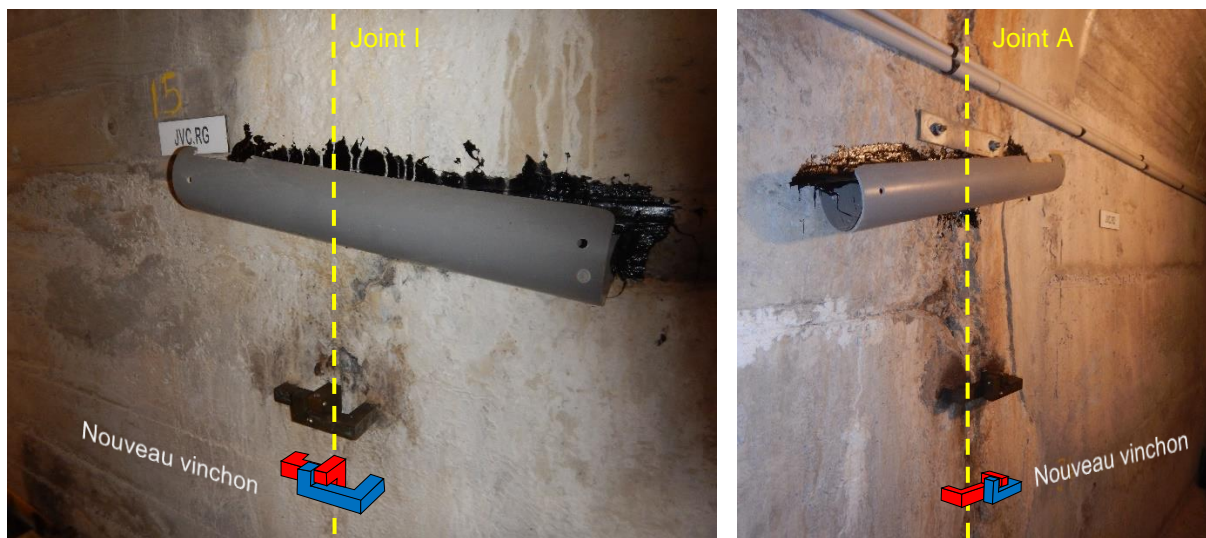


Figure 32: Vinchons existant et position des nouveaux vinchons au droit des joints A et I en galerie du barrage

En complément, il y aura quatre vinchons supplémentaires au niveau des joints C, D, E et F qui permettront de mesurer les déplacements entre plots là où la hauteur du barrage est la plus haute. Ces dispositifs permettront l'évaluation des déplacements relatifs des plots CD, DE et EF pour lesquels les calculs de stabilité [Réf 5] ont démontré un point de vigilance.

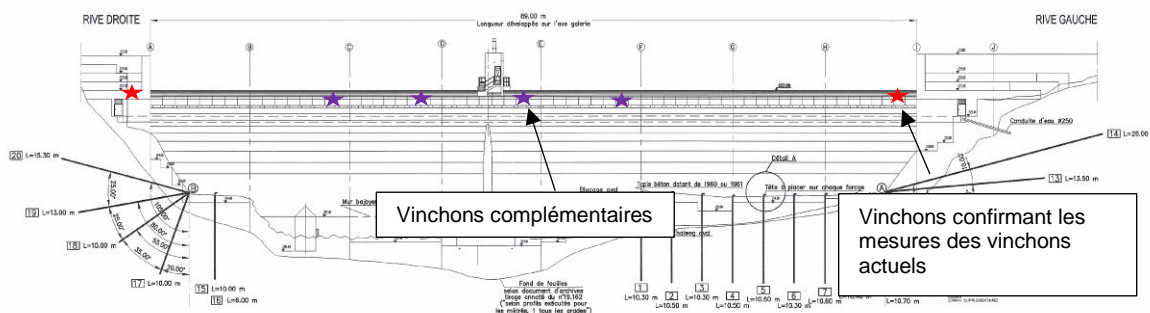


Figure 33: Implantation des nouveaux vinchons en galerie du barrage

Les informations recueillies par les vinchons permettront une meilleure connaissance des mouvements inter-plots, notamment au centre de l'ouvrage où la hauteur de l'ouvrage est plus importante.

Actuellement, le pendule inversé du barrage ne mesure que les déplacements relatifs de la crête du barrage par rapport à son pied. Afin de caractériser le mouvement du barrage par rapport à sa fondation, la mise en place d'un deuxième pendule inversé en pied de barrage, ancré dans le rocher est nécessaire. Ce dispositif permettrait de faire apparaître d'éventuels mouvements anormaux pouvant signifier l'ouverture d'une fissure en pied amont de l'ouvrage et permettrait de mieux suivre les dérives irréversibles du barrage. En complément de ces mesures de déplacement horizontales sur x et y, un dispositif permettant de mesurer le déplacement vertical sera mis en œuvre (type diabolo).

Ainsi, après les travaux de sécurisation du barrage des Cambous, le dispositif de suivi des phénomènes géomécaniques sera complété par la :



- Mise en place d'un deuxième pendule inversé en pied de barrage ;
- Mise en place de 6 nouveaux vinchons en galerie du barrage.

3.1.10.1.3 Surveillance topographique

ÉTAT EXISTANT

Le réseau de surveillance topographique est le suivant :

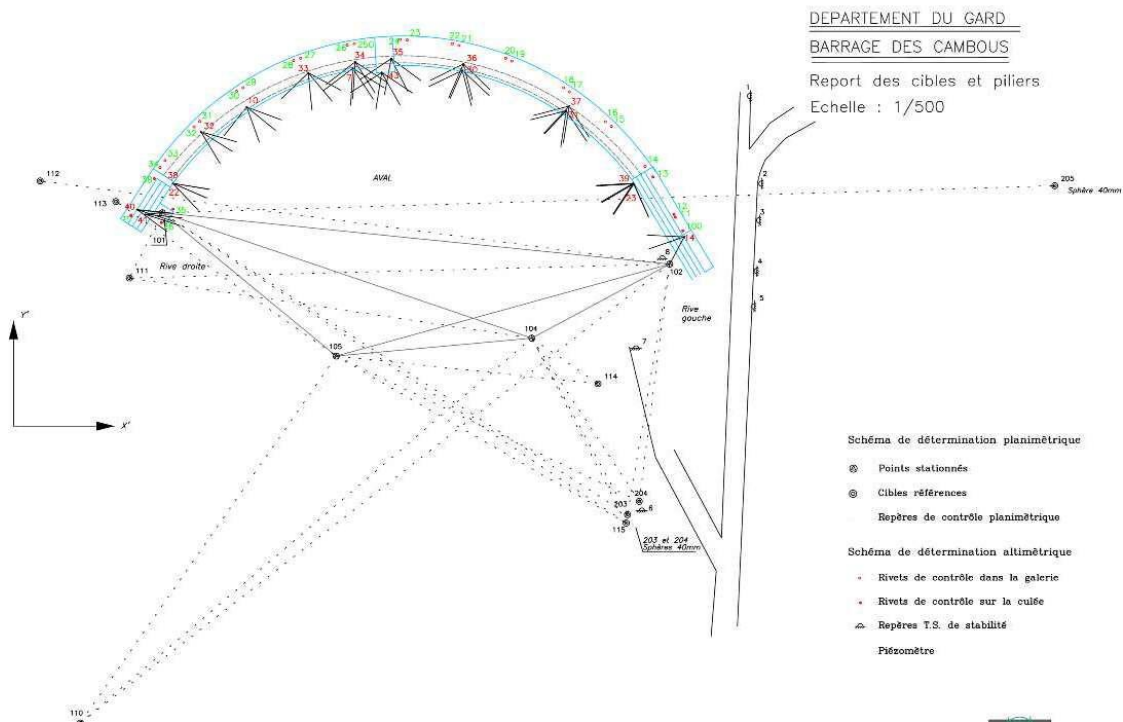


Figure 34: Réseau de surveillance topographique

La surveillance en planimétrie se fait à l'aide de 17 cibles placées sur la face aval de l'ouvrage et réparties sensiblement sur deux niveaux du parement.

La surveillance en altimétrie se fait à l'aide de 8 cibles situées en rive gauche, de 4 rivets sur la culée rive gauche, de 2 rivets sur la culée rive droite et de 21 rivets implantés sur le côté aval de la galerie (+ 2 en sortie rive droite).

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Les travaux n'ont pas d'impact sur cette partie d'ouvrage.

3.1.10.2 Consignes de surveillance

Les consignes de surveillance de la part de l'exploitant sont différentes selon le niveau de la retenue et sont détaillées dans les consignes écrites du barrage des Cambous [Réf 6].



L'agent chargé de la surveillance réalise des tournées d'auscultation régulières sur l'ouvrage et ses alentours.

Les mesures d'auscultation, leur périodicité et les acteurs sont récapitulées dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Mesures de surveillance dans le cadre de l'auscultation du barrage

	Type de mesures	Fréquence
Topométrie	Planimétrique	Annuelle
	Nivellement	Annuelle
Mesures mécaniques	Pendules	Mensuelle + en crue
	Vinchons	Mensuelle + en crue
Mesures hydrauliques	Drains (avec mesure en piézométrie)	Mensuelle (à minima trimestrielle avec l'abaissement du plan d'eau)

Les mesures d'auscultation font l'objet des contrôles suivants :

- 1er niveau (systématiquement à chaque mesure) : par le surveillant ;
- 2ème niveau (systématiquement à chaque mesure) : par l'encadrement ;
- 3ème niveau (trimestriellement et en cas d'anomalies détectées par les contrôles de niveaux inférieurs) : par le Bureau d'Etudes en charge du contrôle et de l'interprétation des données d'auscultation.

Une analyse approfondie des mesures est effectuée dans le rapport d'auscultation par les ingénieurs du Bureau d'Etudes en charge de l'auscultation des barrages.

En parallèle, lors des VTA, une inspection visuelle est également réalisée par les ingénieurs du Bureau d'études afin de rechercher toutes les évolutions dans les aspects et le suivi des phénomènes nouveaux ou précédemment identifiés.

3.1.11 Description du dispositif de mesure

Les données hydroclimatiques (pluviométrie au local de surveillance du barrage de Sainte Cécile d'Andorge) et hydrauliques (côte du plan d'eau amont) sont mesurées hebdomadairement par le surveillant (lors de la tournée d'inspection visuelle et de contrôle) et en continu par les appareils.

La cote du plan d'eau est mesurée au moyen de :

- Une échelle limnimétrique, implanté au droit de la culée rive gauche ;
- Un limnimètre à flotteur, implanté au droit de la culée rive gauche ;
- Une sonde piézométrique, implantée au droit de la culée rive gauche.

La pluviométrie est mesurée par un pluviomètre (en partenariat avec le SPC Grand Delta).

L'archivage des données se fait sur support informatique et sur le registre de l'ouvrage.

La température de l'air est mesurée à proximité du barrage de Sainte Cécile, au droit de la maison du barragiste. Il n'y a pas de suivi de la température de l'eau.



3.1.12 Description de la retenue

En exploitation normale, la retenue créée par le barrage des Cambous s'étend en amont jusqu'au barrage de Sainte Cécile d'Andorge, soit sur un linéaire de 1,5 km le long du cours du Gardon.

Le barrage intercepte l'écoulement de la rivière « Le Gardon d'Alès ». Long de 60,6 km, il prend sa source dans les Hautes Cévennes et conflue avec le Gardon d'Anduze à Ners pour constituer le Gardon.



Figure 35 : Carte du Gardon d'Alès, de ses confluentes et de ses affluents

A la cote 231.00 m NGF (arase supérieure des culées), la retenue peut impacter les lieux-dits Le Figaret et les Vernèdes.

Les caractéristiques de la retenue sont les suivantes :

RETENUE NORMALE (RN)	
Cote de remplissage	227,00 mNGF
Aire du plan d'eau sous la cote de la retenue normale	19 ha
Capacité de la retenue normale	1,12 hm ³



RETENUE A LA COTE 231 m NGF	
Cote maximale de remplissage	231,00 mNGF
Aire du plan d'eau sous la cote de la retenue maximale	21,2 ha
Capacité de la retenue maximale	2,5 hm ³

La carte ci-dessous montre ce que serait l'étendue de la retenue avec une cote de retenue à 231,00 m NGF :

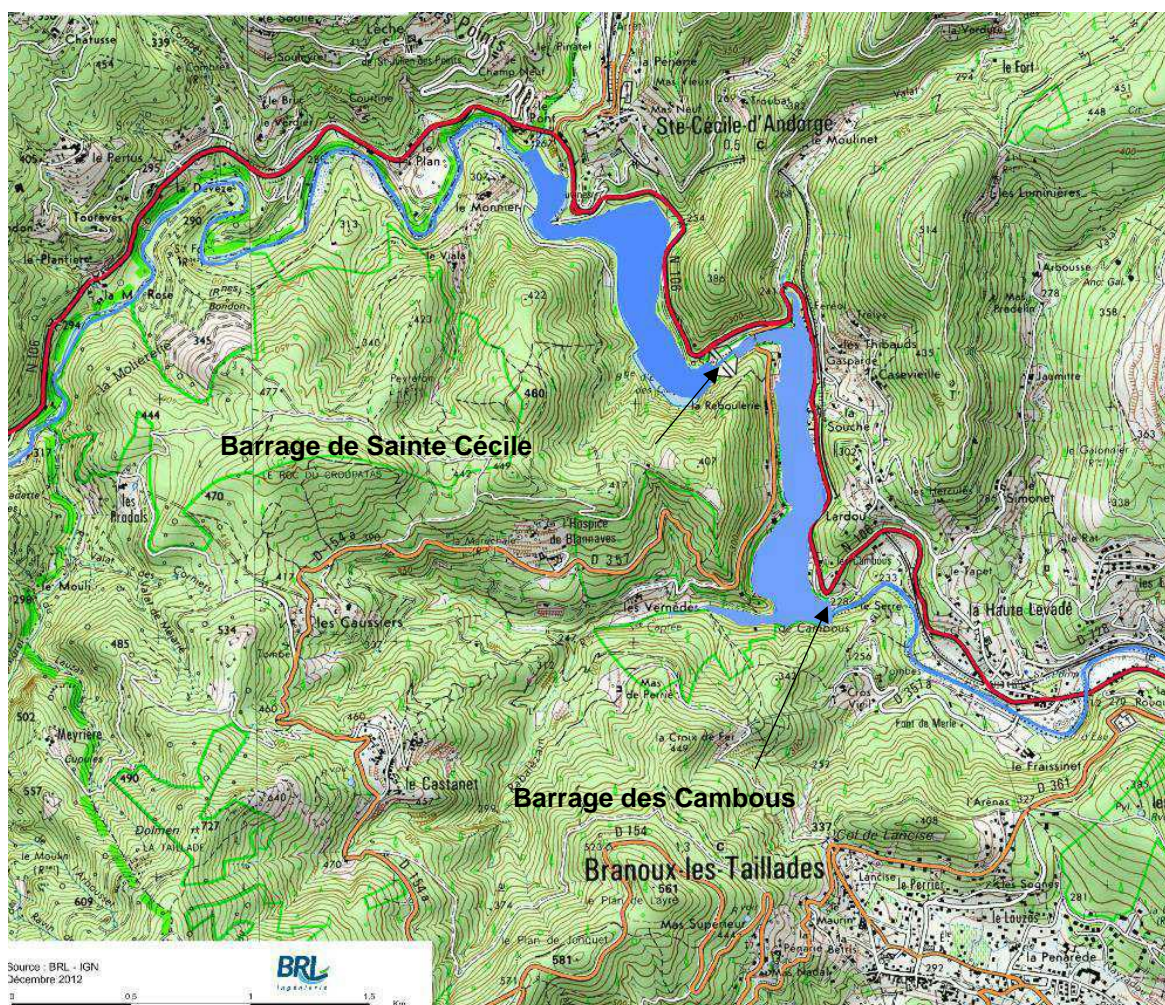


Figure 36 : Etendue de la retenue des Cambous à la côte 231,00 mNGF

3.1.13 Fonctionnement du barrage

3.1.13.1 Mode de fonctionnement en période d'exploitation normale

Le fonctionnement du barrage est basé sur l'application du règlement d'eau et ses consignes [Réf 6].

Le principe de fonctionnement du barrage est de restituer à l'aval le débit amont de Sainte Cécile d'Andorge sauf si celui-ci est supérieur à 360 L/s, dans ce cas le débit restitué doit être à minima de 360 L/s.



Les positions normales des organes hydrauliques du barrage des Cambous sont les suivantes :

- Vannes de garde des dispositifs de vidange et de restitution : fermées (sauf en période de soutien d'étiage et essais de manœuvre) ;
- Vannes de réglage des dispositifs de vidange et de restitution : fermées (sauf en période de soutien d'étiage et essais de manœuvre).

3.1.13.2 Différents états d'alerte de crue

ÉTAT D'EXPLOITATION NORMALE

En exploitation normale, aucune préoccupation relative à la tenue et à la sûreté de l'ouvrage n'est détectée.

L'exploitation et la surveillance du barrage sont assurées conformément à la réglementation générale et à la réglementation spécifique, notamment précisée dans la consigne de surveillance et d'auscultation du barrage des Cambous.

ÉTAT DE VEILLE

L'état de veille est caractérisé par les conditions suivantes :

- Prévisions de précipitations supérieures à **60 mm en 24h** (valeurs moyennes) sur le secteur Cévennes Gardoises (zonage et données Météo France) ;
- Ou prévisions de précipitations supérieures à **110 mm sur 72h "glissantes"** (observées et/ou prévues en valeurs moyennes) sur le secteur Cévennes Gardoises (zonage et données Météo France) ;
- Ou conditions particulières (par exemple : prévisions de précipitations inférieures mais avec une cote haute au barrage ou prévisions de précipitations inférieures mais faisant suite à un cumul pluvieux important durant les jours précédents ou constatations particulières sur l'ouvrage). Ces conditions particulières sont évaluées en concertation entre le cadre et le surveillant de barrage.

Ce tableau présente les règles de surveillance à appliquer en état de veille ; le cadre et le surveillant n'étant pas présents en permanence sur site :

ÉTAT DE VEILLE	Cadre	Surveillant
Organisation	<ul style="list-style-type: none"> - Organisation des astreintes des cadres et des surveillants - Renseignement du registre d'astreinte 	<ul style="list-style-type: none"> - Renseignement du registre barrage
Procédure « Préparation de crue » dite E10	Valider le début et la fin de la procédure sur site	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle des moyens de communication entre le local de surveillance du barrage et Nîmes (téléphones et radios) - Contrôle du pluviomètre - Contrôle des limnimètres et du calage - Contrôles dans le barrage - Contrôles sur le barrage : projecteurs



		<ul style="list-style-type: none">- Contrôle des abords de la retenue- Préparation du matériel d'auscultation et de l'éclairage portatif
Suivi hydrométéorologique	<ul style="list-style-type: none">- Suivi régulier, en fonction de la situation (au moins toutes les 12 heures) : sur internet ou en lien avec le surveillant- Echanges avec le surveillant au moins 2 fois par jour	Echanges avec le cadre au moins 2 fois par jour
1 ^{ère} auscultation (Procédure E11)	Valider le début et la fin de l'auscultation sur site	<ul style="list-style-type: none">- Entre 227.50 et 228 m NGF Tournée d'auscultation des dispositifs suivants : <ul style="list-style-type: none">- pendule- écartements de joints

Après les travaux de sécurisation du barrage :

Ces règles de surveillance en état de veille seront maintenues après les travaux. La partie auscultation contiendra en plus les mesures :

- des nouveaux vinchons ;
- des cellules piézométriques ;
- deux nouveaux piézomètres situés sur les culées du barrage.

Le point de lecture du nouveau pendule est situé dans la chambre aval. Cette dernière étant susceptible d'être noyée en crue, cette mesure n'est pas intégrée à la tournée d'état de veille.

ETAT DE CRUE

Le passage de l'état de veille à l'état de crue est décidé par le cadre d'astreinte, en concertation avec le surveillant, en cas de :

- montée rapide de la cote dans la retenue, à partir de la cote 228 m NGF environ correspondant à un débit de l'ordre de 160 m³/s (équivalent au débit évacué par les 2 pertuis de crue du barrage de Sainte Cécile d'Andorge lors de leur mise en charge à une cote de 246 m NGF environ) ;
- ou autres conditions particulières ; ces conditions particulières sont évaluées en concertation entre le cadre et le surveillant de barrage.

La surveillance de la cote au barrage de Sainte Cécile d'Andorge, fournissant un ordre de grandeur du débit transité au barrage des Cambous, est alors assurée régulièrement par le cadre : soit sur internet, soit en lien avec le surveillant de barrage. La présence du surveillant sur le site du barrage (local, galeries ou abords) est décidée en fonction du déroulement de la crue.



Ce tableau présente les règles de surveillance à appliquer en état de crue :

ETAT DE CRUE	Cadre	Surveillant
Organisation	<ul style="list-style-type: none"> - Organisation des astreintes et mobilisation des cadres et des surveillants - Renseignement du registre d'astreinte - Avertissement de la hiérarchie - Opportunité de déplacement au CD30 à Nîmes 	<ul style="list-style-type: none"> - Renseignement du registre barrage
Suivi hydrométéorologique	<ul style="list-style-type: none"> - Suivi régulier en fonction de la situation (au moins toutes les 6 heures) : sur internet ou en lien avec le surveillant - Echanges réguliers avec le surveillant 	<ul style="list-style-type: none"> - Echanges réguliers avec le cadre - Contrôle régulier du calage du limnimètre
Procédure « auscultation en période de crue » dite E11	<ul style="list-style-type: none"> - Valider le début et la fin de chaque auscultation (surveillant hors du local de surveillance) 	<ul style="list-style-type: none"> - Entre 228 et 229.50 m NGF - Entre 229.50 et 231 m NGF - Si possible, à la cote maximale atteinte - A la décrue : quand cote < 227.50 m NGF <p>Tournée d'auscultation des dispositifs suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pendule - écartements de joints
En cas de problèmes particuliers	<p>Contacts avec les partenaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - suivi hydrométéo : Météo France, SPC - données d'auscultation : assistant technique - le cas échéant : Préfet, Service de Contrôle et Service de Police de l'Eau 	
Post crue (Procédure E12)		<p>Tournée d'inspection visuelle et de contrôle hebdomadaire prévue à la consigne de surveillance et d'auscultation</p>



Après les travaux de sécurisation du barrage :

Ces règles de surveillance en état de crue seront maintenues après les travaux. La partie auscultation contiendra en plus les mesures :

- des nouveaux vinchons ;
- des cellules piézométriques ;
- deux nouveaux piézomètres situés sur les culées du barrage.

Le point de lecture du nouveau pendule est situé dans la chambre aval. Cette dernière étant susceptible d'être noyée en crue, cette mesure n'est pas intégrée à la tournée d'état de veille.

3.1.13.3 En périodes de crue

En crue, aucun organe hydraulique n'est manœuvré et le barrage est totalement passif par un déversement à surface libre.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

1. **Un abaissement partiel du plan d'eau** est nécessaire afin de ne pas avoir de surverse sur la zone des travaux. Selon les modalités de gestion du plan d'eau, il est nécessaire de prévoir une marge de manœuvre afin de pouvoir anticiper toute action sur le plan d'eau en fonction des variations sur les débits entrants et de la montée du plan d'eau générée ou toute action vis-à-vis de la protection du chantier en cas de crue.

À ce stade, il est proposé d'abaisser le plan d'eau à la cote 224 mNGF préalablement au démarrage des travaux, afin de bénéficier d'environ 400 000 m³ de stockage, tout en conservant une charge suffisante pour la gestion des débits courants et la régulation du plan d'eau en phase travaux.

Un abaissement de 3 m par rapport au seuil déversant permettrait donc de stocker environ 400 000 m³. Les crues du barrage de Sainte Cécile (s'étalant de 1976 à 2002) ont été étudiées afin de déterminer le temps de remplissage de la retenue des Cambous sur les mois d'avril à septembre.

Il apparaît que si les travaux sont effectués d'avril à septembre, l'entreprise disposera en moyenne de 9h pour évacuer le chantier et replier le matériel dans le cas de l'arrivée d'une crue. De juin à septembre le délai s'allonge et monte à 10h en moyenne (cf. [Réf 4]).

2. **Un siphon** en rive droite du barrage sera mis en place comme cela avait été fait lors des travaux de 2002-2003. Le siphon permet de franchir l'ouvrage et la zone de travaux qui sépare la retenue amont de l'aval du barrage. Le dispositif proposé est similaire à celui qui a été utilisé lors des travaux de 2002-2003. Il comprend un ensemble de tuyauterie composé de tronçons droits et de coudes, à son extrémité amont (côté aspiration) un clapet anti-retour avec crépine et à son extrémité aval une vanne d'isolement de type papillon. Le sommet du siphon est équipé d'un piquage et d'une vanne pour l'alimentation du siphon. L'amorçage du siphon s'effectue par le piquage de remplissage prévu à cet effet à l'aide d'une pompe, la vanne à l'aval du siphon étant fermée. Une fois le remplissage achevé, la vanne du piquage est fermée puis on procède à l'ouverture de la vanne de refoulement.



Figure 37 : Siphon lors des travaux de 2002-2003

Durant la phase des travaux, le plan d'eau de la retenue amont sera maintenu à la cote 224 mNGF tandis que la cote de refoulement du siphon sera calée à 209 mNGF soit un dénivelé de 16 mCE. Le linéaire estimé du siphon est de 70 m et le débit cible maximum est de 4 m³/s. A savoir que ce siphon devra également restituer des débits plus faibles de l'ordre de 500 L/s, ce qui va entraîner de par la faible vitesse de transfert un risque de désamorçage. Pour ce faire, un second siphon de diamètre plus petit sera installé. Un siphon de diamètre 800 mm, dans les conditions évoquées ci-dessus et en tenant compte des différentes pertes de charge, est en capacité de débiter 3,50 m³/s. Le débit réservé est fixé à 500 L/s en période estivale. Le second siphon à mettre en œuvre aura un diamètre de 400 mm et sera en capacité de débiter environ 700 L/s. Le cumul des débits de ces deux siphons permet de couvrir le débit maximum établi à 4 m³/s.

3. **La mise en place d'un merlon** faisant office de batardeau pour isoler le chantier des venues d'eau de la retenue aval. Ce batardeau fera environ 2,5 m à 3 m de hauteur pour 3 m de largeur avec des talus qui auront une pente d'environ 3H/2V. Il sera mis en place avec des matériaux réputés étanches afin de limiter les venues d'eau au sein de la zone de travaux notamment vis-à-vis de l'exécution de la protection en béton de la fosse de dissipation. Le batardeau sera mis en œuvre dans une zone de « haut-fond » du cours d'eau, où un seuil semble s'être formé avec le temps. En complément, une pompe sera mise en œuvre « dans la cuvette » qui se trouve une dizaine de mètres devant les chambres aval.

La survenance d'une crue engendrera une surverse globale du barrage. Afin de permettre l'évacuation du chantier, l'entreprise devra se tenir informée des conditions météorologiques via la surveillance des différents sites de données (Vigicrues notamment). Dans le cas de l'arrivée d'une crue, la réalisation des travaux sera interrompue immédiatement et tout le matériel présent dans le bassin de dissipation et sur la plateforme devra être évacué dans les plus brefs délais. Le laps de temps entre la prévision et l'arrivée de la crue est évalué entre 2 et 3h.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

3.1.13.4 En périodes de soutien d'étiage

Le débit restitué est défini dans le Règlement d'Eau selon 3 périodes :

- Période estivale : entre le 1er juin et le 15 septembre, la retenue est pleine (227 mNGF) et le barrage est transparent ;



- Période de soutien d'étiage : entre le 16 septembre et le 1er octobre, avec une cote minimale à respecter de 220,5 mNGF. Cette période peut démarrer avant le 15 septembre dans le cas où la retenue de Sainte Cécile d'Andorge a atteint la valeur de 235 mNGF et après accord préalable du service chargé de la police de l'eau. Si elle devait débuter fin août, l'avis du comité de suivi du soutien d'étiage sera sollicité ainsi que celui du responsable de la base nautique des Cambous.
- Période normale : à partir du 2 octobre avec une cote minimale de 220,5 mNGF à respecter.

La retenue des Cambous se remplit dès que celle de Sainte Cécile d'Andorge a retrouvé sa cote normale d'exploitation (242 mNGF), puis reste transparente par la suite.

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet.

3.2 ANALYSE FONCTIONNELLE INTERNE

L'analyse fonctionnelle de l'ouvrage consiste à le décomposer structurellement en sous-éléments de différents niveaux, puis à attribuer à au moins chaque sous-élément de plus bas niveau une fonction. Cela consiste à établir l'ensemble des fonctions remplies par un composant vis-à-vis des autres composants et vis-à-vis des éléments du milieu extérieur.

Ces fonctions sont listées dans un tableau dit « Tableau d'Analyse Fonctionnelle ». Ce tableau recueille toutes les fonctions remplies, composants après composants.

On utilise deux classes de fonctions :

- Les fonctions dites **principales (FP)** représentent la fonction primordiale du composant, celle pour laquelle il a été conçu et qu'il doit absolument remplir pour que la stabilité de l'ouvrage soit assurée ;
- Les fonctions dites **technologiques (FT)** représentent des fonctions que le composant doit remplir pour conserver son intégrité et sa performance. Une dégradation ou une défaillance des fonctions technologiques mène souvent à une défaillance des fonctions principales.

Les fonctions technologiques sont, la plupart du temps, relatives aux caractéristiques physiques, mécaniques ou chimiques des matériaux constituant les composants, et ayant donc fait l'objet d'un choix technique ou d'un dimensionnement.

Chaque sous-système peut ensuite être divisé en plusieurs composants afin de lister par la suite les interactions d'un composant avec les autres composants et avec les milieux extérieurs.

Nous décrivons par la suite la décomposition structurelle retenue pour chaque sous-système ainsi que les fonctions qu'il remplit.

L'analyse fonctionnelle interne se basera ensuite sur cette décomposition pour répertorier les interactions entre les différents composants du système.



3.2.1 Décomposition structurelle de l'ouvrage

Dans un premier temps, il est possible de diviser le système objet de l'étude de dangers en plusieurs sous-systèmes :

- **Le corps du barrage** : correspondant au barrage en lui-même et les éléments associés qui permettent d'en assurer la pérennité ;
- **Le dispositif de vidange** : correspondant aux organes permettant la vidange de la retenue ;
- **Le dispositif de restitution** : correspondant aux organes permettant la prise d'eau dans la retenue et sa restitution à l'aval.

Ces sous-systèmes remplissent des fonctions différentes par rapport au système global.

Le tableau suivant résume ces fonctions détaillées par la suite :

Tableau 6 : Fonctions des sous-systèmes du barrage

Sous-système	Type de fonction		Fonction
	Principale	Technologique	
CORPS DU BARRAGE	X	X	Retenir l'eau Permettre les activités nautiques
DISPOSITIF DE VIDANGE	X	X	Permettre la vidange de la retenue
DISPOSITIF DE RESTITUTION	X		Restituer un débit

3.2.1.1 Corps du barrage

La principale fonction remplie par le corps du barrage est la rétention de l'eau, à savoir la possibilité de créer une retenue d'eau en coupant le cours d'eau.

On retrouve pour ce sous-système la décomposition structurelle suivante :

Tableau 7 : Décomposition structurelle du corps du barrage

N° composant	Composant	Composant modifié dans le cadre des travaux de sécurisation
B1	Fondation	-
B2	Plot n° i	-
B3	Voile d'étanchéité	Oui : injections d'étanchéité dans le massif de butée RD
B4	Système de drainage	Oui : ajouts de drains
B5	Galerie	-
B6	Fosse aval	Oui : travaux de confortement RD et RG
B7	Seuil déversant	-
B8	Culées	Oui : travaux de confortement RD



Une coupe type du corps du barrage est fournie ci-après.

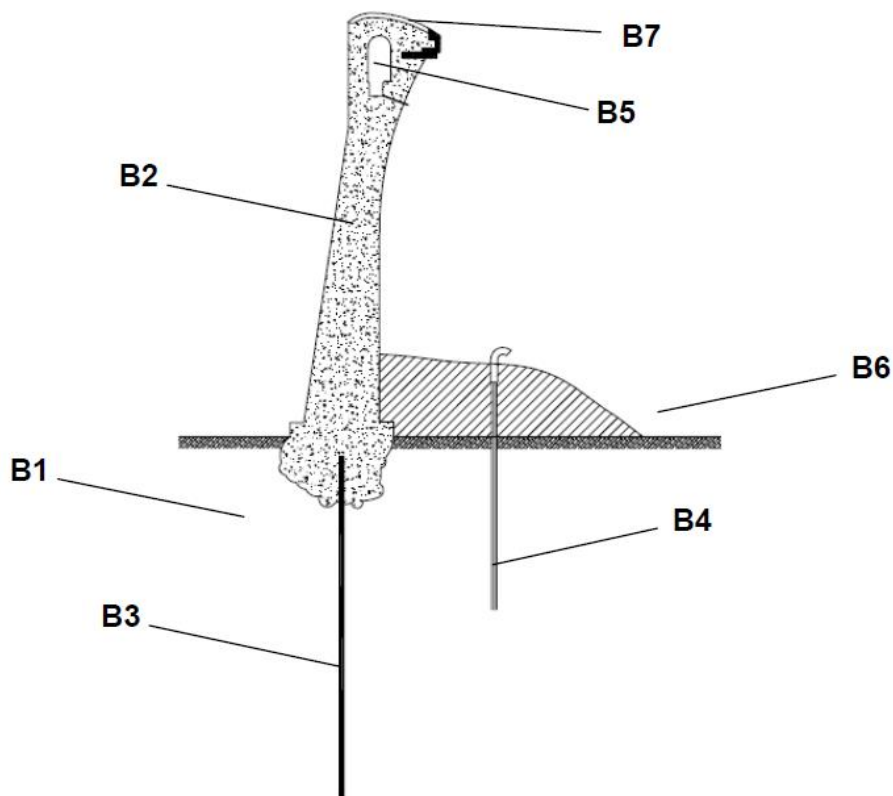


Figure 38 : Décomposition structurelle du corps du barrage

3.2.1.2 Dispositif de vidange

La fonction principale, qui est également une fonction technologique, remplie par le dispositif de vidange est de permettre la vidange de la retenue, en cas de nécessité pour la stabilité de l'ouvrage ou pour toute autre raison.

On retrouve pour ce sous-système la décomposition structurelle suivante :



Tableau 8 : Décomposition structurelle du dispositif de vidange

N° composant	Composant	Composant modifié dans le cadre des travaux de sécurisation
DV1	Cage d'entonnement	-
DV2	Boule batardeau	-
DV3	Conduite	Oui pour les tronçons situés dans la chambre des vannes aval
DV4	Vanne papillon	-
DV5	Système de manœuvre papillon (volant+tringlerie)	-
DV6	Système de by-pass	Oui : piquage des by-pass
DV7	Circuit de remplissage	-
DV8	Vanne de réglage	Oui : remplacement de la vanne à jet creux par une vanne annulaire à piston
DV9	Système de manœuvre vanne réglage (volant+tringlerie)	Oui : système de manœuvre modifié (y compris alimentation électrique ajouté)

Une coupe type du sous-système « Dispositif de vidange » avec l'implantation des différents composants retenus est fournie ci-après.

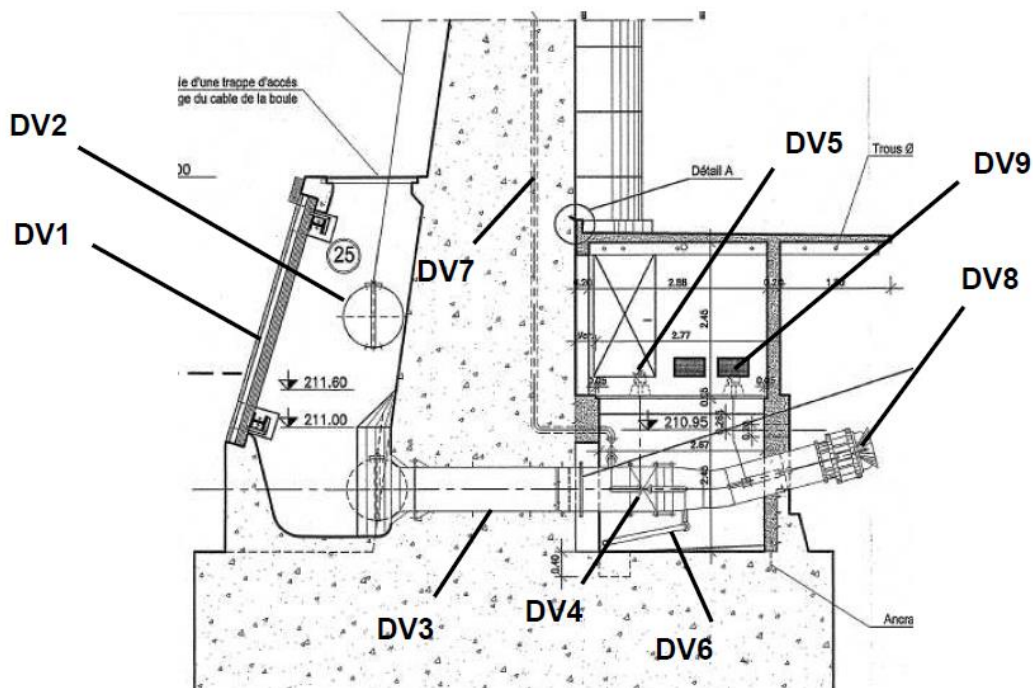


Figure 39 : Décomposition structurelle du dispositif de vidange

3.2.1.3 Dispositif de restitution

Le dispositif de restitution remplit une fonction principale qui est nécessaire suite à la création du barrage, à savoir assurer la transition d'un débit minimal entre l'amont et l'aval du barrage, notamment en période d'étiage.

On retrouve pour ce sous-système la décomposition structurelle suivante :



Tableau 9 : Décomposition structurelle du dispositif de restitution

N° composant	Composant	Composant modifié dans le cadre des travaux de sécurisation
DR1	Prise à niveau variable	-
DR2	Conduite	Oui : ajout d'un débitmètre et suppression du réducteur DN700/350
DR3	Vanne papillon	-
DR4	Système de manœuvre papillon (volant+tringlerie)	-
DR5	Système de by-pass	Oui : piquage des by-pass
DR6	Circuit de remplissage	-
DR7	Vanne de réglage	Oui : remplacement de la vanne à jet creux par une vanne annulaire à piston
DR8	Système de manœuvre vanne (volant+tringlerie)	Oui : système de manœuvre modifié (y compris alimentation électrique ajoutée)

Une coupe type du sous-système « Dispositif de restitution » avec l'implantation des différents composants retenus est fournie ci-après.

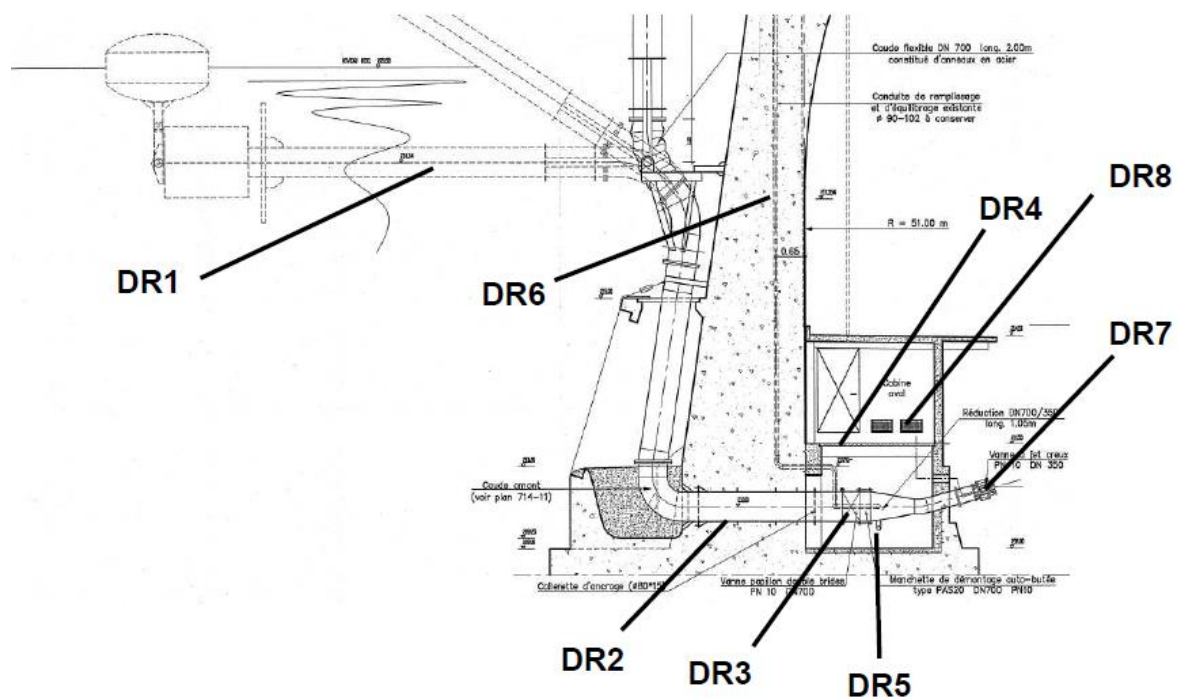


Figure 40 : Décomposition structurelle du dispositif de restitution

3.2.2 Analyse fonctionnelle de l'ouvrage

L'analyse fonctionnelle utilise ensuite la décomposition structurelle pour établir pour chaque composant l'ensemble des fonctions qu'il remplit par rapport à chaque autre composant du sous-système et par rapport aux milieux extérieurs.



L'analyse fonctionnelle de l'ouvrage est présentée dans le tableau en pages suivantes. Elle est réalisée par sous-système à partir de la décomposition structurelle de l'ouvrage réalisée au paragraphe précédent. Elle liste sous forme de tableau les fonctions que remplit chaque composant.

Cette analyse fonctionnelle permettra par la suite d'élaborer et proposer des modes de défaillances correspondant à la dégradation de fonctions listées dans cette analyse fonctionnelle, en vue de l'élaboration de scénarios de défaillances au chapitre 8 de la présente étude.

L'étude des aléas naturels pouvant affecter l'ouvrage et l'étude accidentologique, réalisées dans les chapitres 6 et 7 de la présente étude de dangers, permettront par ailleurs de retenir des enchaînements d'évènements plutôt que d'autres.

RAPPEL DES FONCTIONS PRINCIPALES ET TECHNOLOGIQUES

Système : Barrage des Cambous

Corps du barrage :

- fonction principale : retenir l'eau de la retenue ;
- fonction technologique : permettre les activités nautiques ;

Dispositif de vidange :

- fonction principale : permettre la vidange de la retenue ;
- fonction technologique: permettre la vidange de la retenue ;

Dispositif de restitution :

- fonction principale : transmettre un débit à l'aval.

70

Tableau 10 : Tableau d'analyse fonctionnelle du barrage des Cambous : Corps du barrage

Sous-système étudié : Corps du barrage		
N°	Composant	Fonctions principales et technologiques
B1	Fondation	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Servir de base au plot n°i</p> <p>1.2 Permettre l'ancrage correct du plot n°i</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister aux actions mécaniques (poids propre du plot n°i, sollicitation sismique)</p> <p>2.2 Résister à l'entraînement de fines (résister à l'affouillement)</p>
B2	Plot n°i	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Assurer la stabilité de l'ouvrage</p> <p>1.2 Assurer l'étanchéité avec les plots voisins</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister aux sous-pressions au niveau des fondations</p>



		<p>2.2 Résister à la poussée hydrostatique de l'eau de la retenue</p> <p>2.3 Résister à la poussée des sédiments</p> <p>2.4 Résister aux chocs d'embâcles</p> <p>2.5 Résister aux actions diverses (gel, soleil, action de l'eau, séismes, ...)</p>
B3	Voile d'étanchéité	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Limiter les sous-pressions</p> <p>1.2 Limiter les flux hydrauliques en fondation (limiter le risque d'érosion)</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister au vieillissement du matériau</p> <p>2.2 Résister à une sollicitation sismique</p> <p>2.3 Résister au gradient hydraulique</p>
B4	Système de drainage	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Dissiper les pressions interstitielles en fondation</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister au colmatage des drains</p> <p>2.2 Résister au gradient hydraulique (disposer d'une capacité de drainage suffisante)</p>
B5	Galerie	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Permettre l'accès à la chambre de vannes, à la pile centrale et aux dispositifs d'auscultation</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister aux agents de vieillissement du béton et des joints waterstop</p> <p>2.2 Résister aux sollicitations mécaniques</p>
B6	Fosse aval	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Protéger le pied aval du barrage contre l'érosion</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister à l'érosion due à la turbulence de l'eau et au transport solide à l'aval immédiat du barrage</p>
B7	Seuil déversant	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Permettre l'évacuation d'un débit à partir de la cote 227 mNGF</p>



		<p>1.2 Eloigner la lame d'eau du pied du barrage</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister aux agents de vieillissement du béton (action de l'eau, carbonatation, alcali-réaction)</p> <p>et des joints waterstop aux reprises de bétonnage</p> <p>2.2 Résister aux sollicitations mécaniques (sollicitation sismique, poussée hydrostatique,</p> <p>2.3 Résister aux chocs d'embâcles</p>
B8	Culées	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Permettre l'accès au dispositif de mesure du plan d'eau</p> <p>1.2 Contribuer à la définition de la cote de dangers</p> <p>1.3 Résister à la poussée des arcs de la voûte</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister à la charge hydraulique et à la poussée de la voute</p> <p>2.2 Résister aux actions des éléments extérieurs (soleil, vent, glace, ...)</p>

Tableau 11 : Tableau d'analyse fonctionnelle du barrage des Cambous : Dispositif de vidange

Sous-système étudié : Dispositif de vidange		
N°	Composant	Fonctions principales et technologiques
DV1	Cage d'entonnement (barreaudage de l'entonnement de la vidange)	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Retenir les embâcles</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister aux agents de vieillissement du béton (action de l'eau, carbonatation, alcaliréaction)</p> <p>2.2 Résister aux chocs des embâcles</p>
DV2	Boule batardeau	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Isoler la conduite pour maintenance</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister à la pression hydrostatique</p> <p>2.2 Résister aux agents de vieillissement (corrosion)</p>



DV3	Conduite	1. Fonctions principales 1.1 Assurer le transit du débit de vidange 2. Fonctions technologiques 2.1 Résister à la pression 2.2 Résister aux agents de vieillissement (corrosion)
DV4	Vanne papillon	1. Fonctions principales 1.1 Isoler la conduite pour maintenance sur le jet creux 2. Fonctions technologiques 2.1 Résister à la pression hydrostatique 2.2 Résister aux agents de vieillissement (corrosion, transport solide)
DV5	Système de manœuvre papillon (volant+tringlerie)	1. Fonctions principales 1.1 Actionner l'ouverture ou la fermeture de la vanne papillon 2. Fonctions technologiques 2.1 Résister au blocage
DV6	Système de by-pass	1. Fonctions principales 1.1 Permettre de vidanger entièrement le tronçon de conduite entre la vanne papillon et la vanne de réglage
DV7	Circuit de remplissage	1. Fonctions principales 1.1 Permettre d'équilibrer les pressions d'eau dans la conduite pour manœuvrer la vanne papillon ou décoller la boule batardeau après mise en place
DV8	Vanne de réglage annulaire à piston	1. Fonctions principales 1.1 Gérer le débit de vidange 2. Fonctions technologiques 2.1 Résister à la pression hydrostatique 2.2 Résister aux agents de vieillissement (corrosion)
DV9	Système de manœuvre	1. Fonctions principales 1.1 Actionner l'ouverture ou la fermeture de la vanne de réglage 2. Fonctions technologiques 2.1 Résister au blocage



Tableau 12 : Tableau d'analyse fonctionnelle du barrage des Cambous : Dispositif de restitution

Sous-système étudié : Dispositif de restitution		
N°	Composant	Fonctions principales et technologiques
DR1	Prise à niveau variable	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Restituer un débit en fonction du niveau d'eau</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister aux agents de vieillissement (corrosion, transport solide, etc.)</p> <p>2.2 Résister aux chocs des embâcles</p>
DR2	Conduite	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Assurer le transit du débit de restitution</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister à la pression</p> <p>2.2 Résister aux agents de vieillissement (corrosion)</p>
DR3	Vanne papillon	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Isoler la conduite pour maintenance sur la vanne de réglage annulaire à piston</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister à la pression hydrostatique</p> <p>2.2 Résister aux agents de vieillissement (corrosion, transport solide)</p>
DR4	Système de manœuvre papillon (volant+tringlerie)	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Actionner l'ouverture ou la fermeture de la vanne papillon</p> <p>2. Fonctions technologiques</p> <p>2.1 Résister au blocage</p>
DR5	Système de by-pass	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Permettre de vidanger entièrement le tronçon de conduite entre la vanne papillon et la vanne de réglage</p>
DR6	Circuit de remplissage	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Permettre d'équilibrer les pressions d'eau dans la conduite pour manœuvrer la vanne papillon</p>
DR7	Vanne de réglage annulaire à piston	<p>1. Fonctions principales</p> <p>1.1 Réguler le débit de restitution</p>



		2. Fonctions technologiques 2.1 Résister à la pression hydrostatique 2.2 Résister aux agents de vieillissement (corrosion)
DR8	Système de manœuvre	1. Fonctions principales 1.1 Actionner l'ouverture ou la fermeture de la vanne de réglage 2. Fonctions technologiques 2.1 Résister au blocage

Au terme de l'analyse fonctionnelle, nous disposons donc :

- d'une description précise de l'ouvrage, des composants intéressant l'analyse de risques, et des liens entre composants et l'environnement de l'ouvrage,
- d'une liste des fonctions principales et technologiques de chaque composant.

Les informations obtenues par la décomposition structurelle et l'analyse fonctionnelle serviront de base à l'application de l'Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets, réalisée dans le chapitre 8 de la présente étude de dangers.

3.3 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'OUVRAGE

3.3.1 Topographie de la retenue

Au débouché des zones montagneuses, le Gardon d'Alès pénètre dans une région de plaine ne comportant plus que de faibles reliefs. La bordure sous cévenole est une zone de tectonique forte (faille des Cévennes) caractérisée par une grande diversité géologique avec des traversées schisto-gréseuses du houiller, des terrains calcaires et des alluvions récentes déposées dans les premières plaines alluviales et les fossés d'effondrement. Cette unité hydro géomorphologique s'étend entre 200 et 400 m d'altitude.

A l'emplacement du barrage, la rivière s'engage après un méandre accusé, dans une vallée aux formes régulières.



Figure 41 : Vue en plan de la topologie aux alentours de la retenue (source : Géoportail)



Figure 42 : Vue satellite 3D de la retenue et ses alentours (source : Google Earth)

3.3.2 Caractéristiques climatiques et hydrologiques du bassin versant

Le bassin versant naturel intermédiaire de la retenue des Cambous, en aval de celui de Sainte Cécile d'Andorge, a une superficie de 9 km². Il s'étend sur un linéaire de 1,5 km pour une pente moyenne de 0,5%.

Les températures extrêmes rencontrées sur le site ont fait l'objet d'une analyse spécifique dans le cadre de l'étude de stabilité [Réf 5]. Elles sont rappelées au chapitre 5.2.4.1.1.



Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 1440 mm.

Le débit annuel moyen du cours d'eau au droit du barrage est de 6 m³/s.

Le 30 septembre 1958 le barrage a subi l'une des deux plus fortes crues depuis la construction du barrage et dont le débit a été estimé de l'ordre de 550 m³/s (période de retour de 20 ans environ) dans le cadre des études de conception du barrage de Sainte-Cécile d'Andorge.

3.3.3 Voies d'accès à l'ouvrage

Le barrage des Cambous est accessible à partir de la ville d'Alès par la route nationale 106 (en rouge sur la carte ci-dessous) qui longe la retenue en rive gauche ou par les routes départementales 906, 52 (en orange sur la carte ci-dessous) puis 276 et un tronçon de la RN 106, le long des retenues de Sainte Cécile et des Cambous.

Depuis la RN106, un chemin permet d'accéder à l'amont ou à l'aval du barrage en rive gauche.



Figure 43 : Voies d'accès au barrage des Cambous

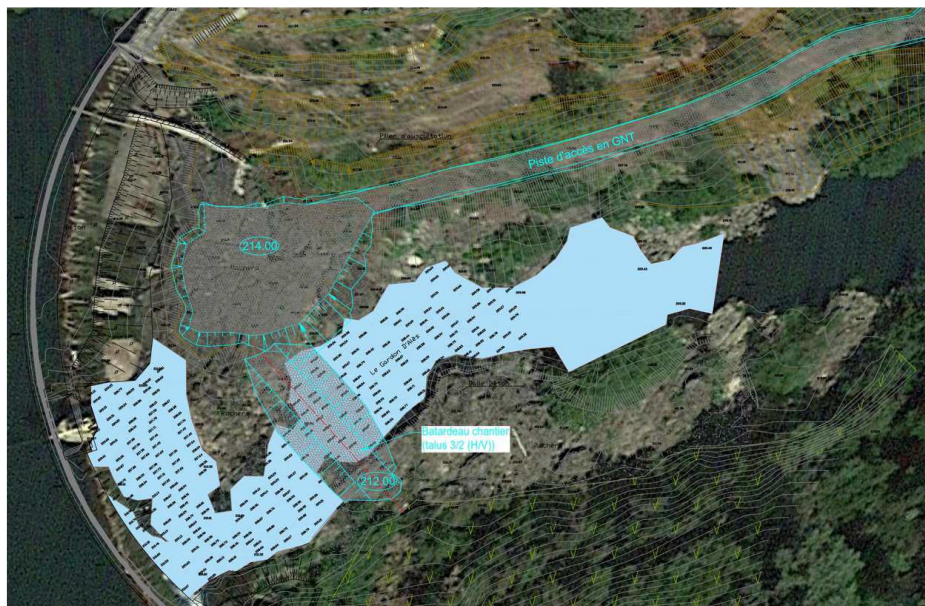


Figure 46 : Plan des accès chantier

La descente à pied dans le bassin de dissipation pourra être assurée par une rampe d'accès provisoire à partir de la plateforme de travail.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE

Sans objet. Accès initiaux rétablis.

3.3.4 Barrage et retenue de Sainte Cécile d'Andorge

Les débits en entrée du barrage des Cambous et pris en compte dans la suite de l'Etude de Dangers sont en réalité ceux directement laminés par le barrage de Sainte Cécile d'Andorge situé juste en amont.

Les principales caractéristiques du barrage (état existant et état après travaux) sont récapitulées ci-après. Davantage de précisions sont disponibles dans l'Etudes de Dangers propre à cet ouvrage [Réf 20].

ÉTAT EXISTANT

Le barrage :

Le barrage est un barrage en enrochements avec masque amont en béton bitumineux. Sa hauteur est de 42m et 45m respectivement par rapport au terrain naturel et par rapport à sa fondation. Sa longueur en crête est de 154m pour une largeur de 6m. La largeur maximale au niveau du terrain naturel est de 136m.

Le corps du barrage est constitué par des enrochements de gneiss extraits sur la rive droite de la cuvette à quelques centaines de mètres en amont de l'ouvrage.

Le masque bitumineux assure l'étanchéité amont du massif en enrochements entre les cotes 235,4 et 267,0 mNGF. Ce masque a été rénové en 1995.

Coté amont, sous la cote 235,4 m NGF, les enrochements sont en butée contre une plinthe en béton. Cette plinthe massive se poursuit sur les rives. Elle inclut la galerie périmétrale.



Le parement aval présente des risbermes d'un peu plus de 4 m de largeur aux cotes 234,0, 245,0 et 256,0 m NGF. Celle calée à la cote 245,0 m NGF est accessible par l'ancienne RN106 qui a été déviée lors de la construction du barrage.

La pente entre les risbermes est de 1,4H/1V. Le fruit moyen du parement en intégrant les risbermes est de 1,75H/1V. La plus basse, calée à 234,0 m NGF, correspond au couronnement d'un massif de pied en gros enrochements (500 à 2500 kg) assurant la protection de la digue contre les écoulements en sortie des galeries.

Sur le parement aval, les enrochements présentent de plus grandes dimensions ce qui assure la protection contre le ravinement et confère au barrage une meilleure protection contre la surverse ou les fuites accidentelles (érosion interne). Cette granulométrie a été obtenue en poussant les plus gros blocs sur le parement lors du remblai puis par aspersion du parement à la lance à eau.

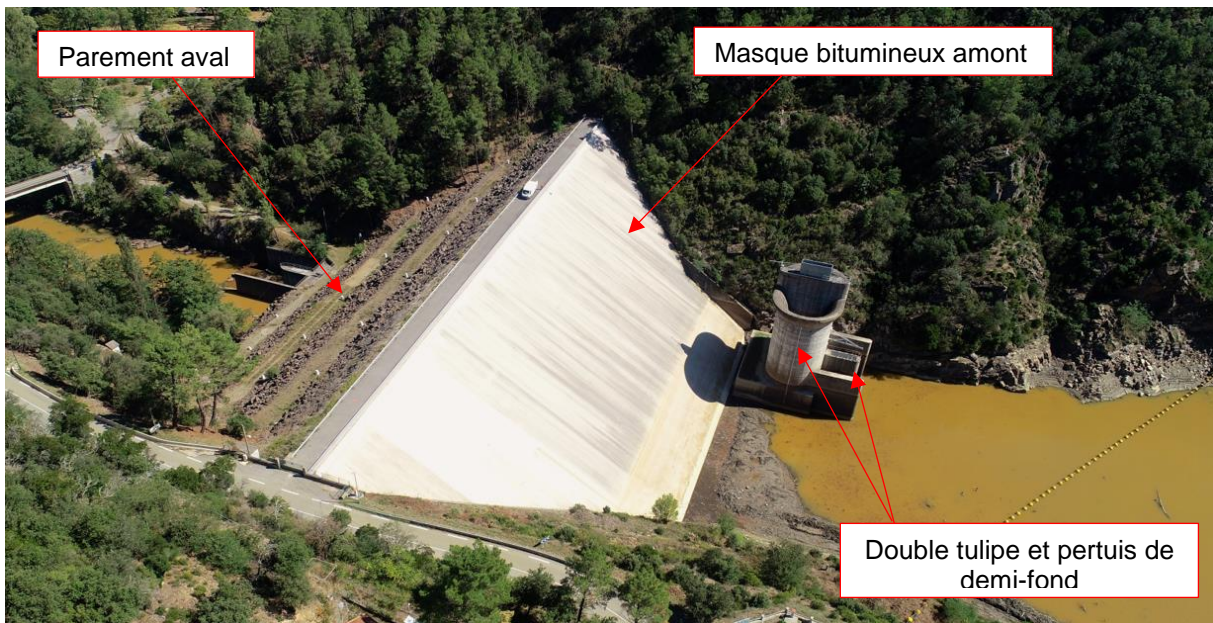


Figure 47 : Vue aérienne du barrage de Sainte Cécile d'Andorge (état existant)

L'évacuateur de crue :

L'évacuateur de crues est constitué de 2 pertuis écrêteurs de demi-fond et d'une double tulipe en partie supérieure qui alimentent deux galeries sous remblais.

La tête amont accueille également :

- le dispositif de restitution, composé de 4 prises étagées qui alimentent une conduite unique débouchant au pied aval du barrage ;
- le dispositif de vidange, composé de deux conduites qui débouchent dans les galeries de fuite de l'évacuateur, en aval immédiat des pertuis.

Les 2 pertuis de demi-fond, calés à la cote 242 m NGF, de section unitaire 6m x 1,5m, assurent, en débit et en fréquence, l'essentiel de la fonction d'évacuation des crues.

En fonction de la montée du plan d'eau au-delà de la cote 242 m NGF, le débit évacué en aval est d'abord contrôlé par les pertuis. Ces pertuis fonctionnent dans un premier temps selon une loi de seuil à surface libre puis, après ennoisement de leur section de contrôle, ils se mettent en charge, la transition s'effectuant à 245,60 m NGF environ.

A partir de la cote 261,34 m NGF, la tulipe entre en service, avec un débit d'abord contrôlé par une loi de seuil à surface libre, puis par une loi d'écoulement en charge, la transition se faisant à la cote 265 m environ. La section de contrôle se situe alors en entrée des galeries de fuite.



Les galeries de fuite sous le remblai permettent l'évacuation des débits de l'évacuateur de crues. Les galeries de 6m de diamètre intérieur sont en béton, longues de 120m et pentées à 1% (entre les cotes 227,86 et 226,66 m NGF).

La retenue :

La retenue normale est fixée par la cote des pertuis de demi-fond (242,0 m NGF). Sous cette cote, le volume d'eau de la retenue (hors engravement) est estimé à environ 0.8 millions de m³ et la surface du plan d'eau est de l'ordre de 25 ha (environ 1,4 km de long).

Le marnage du plan d'eau est faible et la retenue est quasiment toujours à la cote de retenue normale avec un creux de quelques mètres en fin d'été du fait du soutien d'étiage.

En crue, la montée du plan d'eau est rapide de l'ordre de quelques heures. La cote maximale atteinte depuis la création du barrage est d'environ 253 m NGF soit environ 8 m sous la cote d'entrée en service de la corolle (qui n'a donc jamais fonctionné).

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE DE SAINTE CECILE D'ANDORGE

Les principaux travaux envisagés dans le cadre du projet de sécurisation du barrage concernent :

- L'ajout d'un nouvel évacuateur de crues en BCR sur le remblai ;
- La rénovation intégrale du masque amont ;
- La rehausse de la RN 106.

Nouvel évacuateur sur parement aval :

Le parement aval sera réalisé en BCR (béton compacté au rouleau).



Figure 48 : Parement aval de l'ouvrage aménagé [Réf 20]

Le parement aval sera composé :

- D'une section courante, en rives, non déversante ;
- D'une section déversante, au centre de l'ouvrage.

La hauteur des marches en BCR est de 1.20m.



Avec le nouvel évacuateur de crue sur le barrage de Sainte-Cécile d'Andorge, pour la crue de période de retour 1 000 ans, le débit en sortie du nouvel évacuateur sera de 1 080 m³/s (contre 930 m³/s actuellement).

Nouveau masque d'étanchéité amont :

Le diagnostic du masque existant en béton bitumineux a montré que :

- L'étanchéité du masque du barrage de Sainte-Cécile d'Andorge n'est pas au niveau attendu par comparaison aux standards actuels et du fait de son état ;
- les dégradations par décollement/fluage vont s'accroître et conduiront probablement à devoir le reprendre dans moins de 20 ans.

Suite à la conclusion du diagnostic, il a toutefois été décidé d'anticiper la rénovation du masque. Deux variantes ont été envisagées :

- Un masque en béton bitumineux,
- Un masque de type DEG (Dispositif d'Etanchéité par Géomembrane).

Une analyse comparative ainsi qu'une analyse multicritères ont été menées et ont conduit à retenir la mise en œuvre d'un DEG.

Rehausse de la route nationale 106 :

La chaussée est surélevée sur une épaisseur variable (5 à 20 cm) sur 150 m environ avec, suivant les sections :

- Reprofilage en micro grave ou GB et reprise des dévers adaptés à la géométrie ;
- Couche de base en GB4 0/14 de 7 cm minimum d'épaisseur ;
- Couche de roulement en BBSG 0/10 de 6 cm d'épaisseur ;
- Engravure par rabotage aux extrémités.

3.3.5 Enjeux de la zone amont

Le barrage des Cambous se trouve à 26 kilomètres des sources du Gardon d'Alès.

Le barrage de Sainte Cécile d'Andorge se situe 1,5 km en amont du barrage des Cambous et constitue le principal facteur d'agression externe.

La RN 106 constitue le principal accès routier aux villages situés plus en amont.

La carte ci-après représente la zone amont du barrage et de sa retenue. Elle regroupe les données de la base CORINE Land Cover. La légende correspondant aux types d'occupation des sols concernés par la zone amont est fournie par la table suivante :



Tableau 13 : Légende données CORINE LAND ROVER

Code CLC	Couleur	Descriptif de l'occupation du sol
Territoires agricoles		
211		Terres arables hors périmètres irrigation
231		Prairies
243		Surfaces essentiellement agricoles, ininterrompues par des espaces naturels importants
Forêts et milieux semi-naturels		
311		Forêts de feuillus
312		Forêts de conifères
Surfaces en eau		
512		Plans d'eau

La carte ci-après indique donc que la retenue du barrage des Cambous est globalement entourée de zones très peu peuplées et ne présentant donc que peu d'impact sur le barrage et sa retenue. Toutefois, la présence de zones boisées en berge et en amont de la retenue peut constituer une source d'apport d'embâcles au niveau de l'ouvrage.

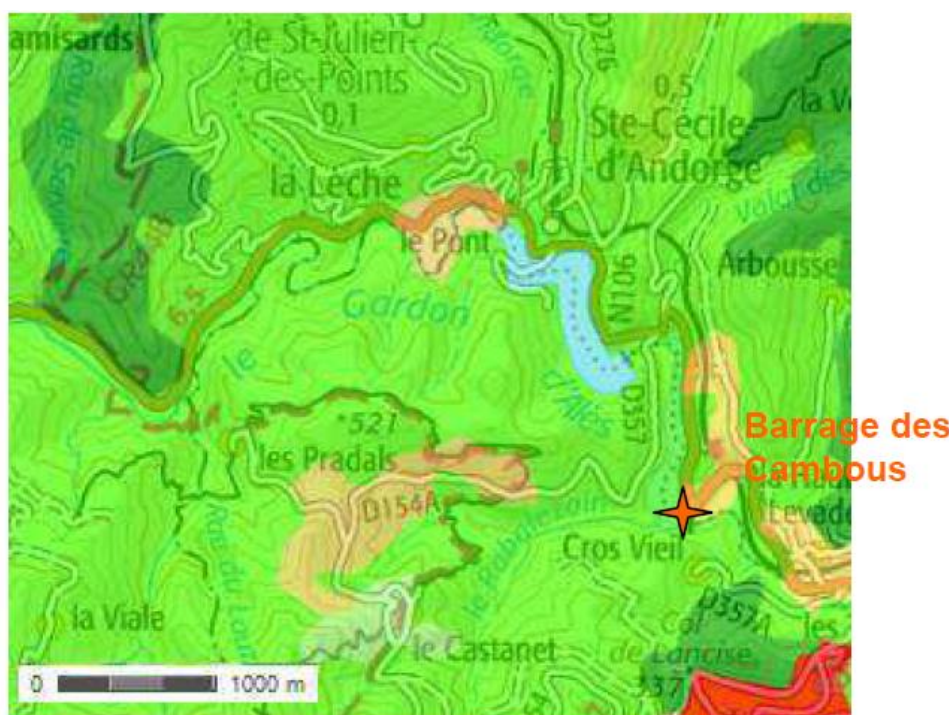


Figure 49 : Carte d'occupation du barrage sur la zone amont du barrage



EVOLUTION DE LA SITUATION AVANT/APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU BARRAGE DE SAINTE CECILE D'ANDORGE

Avant travaux :

La route nationale RN106 franchit la crête de l'ouvrage à la cote 267,70 NGF soit 0,4 m en dessous de la cote d'arase du parapet sur une largeur de 9 m. Au regard des caractéristiques de l'ouvrage et des résultats hydrauliques et hydrologiques, les conditions de sécurité du barrage de Sainte-Cécile d'Andorge sont clairement remises en cause :

- Entre la cote 267,70 (crête) et la cote 268,10 m NGF (mur pare-vagues), l'eau va contourner le barrage par le biais de la RN106 entraînant ainsi une érosion de l'appui rive gauche ;
- Au-delà de la cote 268,10 m NGF, l'eau va déverser sur l'ouvrage engendrant un phénomène d'érosion.

De ce fait, lors de l'EDD 2014 du barrage de Sainte Cécile d'Anorge, la cote de danger correspondait à la cote de la RN106 : 267,70 m NGF. La période de retour associée était comprise entre 1750 et 1800 ans selon la méthode SHYPRE.

Parmi les principales mesures de réduction du risque préconisées par l'EDD de 2014, il était préconisé la prolongation du muret anti-vague le long de la RN106 en aval du barrage afin d'écarter les venues d'eau du parement repoussant ainsi le risque d'érosion.

Une étude de cette prolongation a été réalisée en 2017.

La modélisation hydraulique du déversement sur la RN106 a conclu à un débit déversé de 3 m³/s pour une hauteur d'eau de 0,3 m. La hauteur utile des aménagements à réaliser pour éviter les écoulements vers le parement aval du barrage a été estimée de 0,3 m.

Les travaux de la prolongation du muret anti-vague le long de la RN106 en aval du barrage ont été réalisés et finalisés en octobre 2017, permettant de faire passer l'occurrence de la cote de danger à **2200 ans** en augmentant sa cote de 0,4 m.

Après travaux :

Après les travaux de sécurisation détaillés au §3.3.4, le barrage de Sainte Cécile d'Andorge sera en capacité de faire passer la crue de période de retour **10 000 ans**, conformément à la réglementation en vigueur.

Cette évolution significative à la hausse de la période de retour associée à la rupture du barrage de Sainte Cécile d'Andorge joue un rôle important dans la décote de certains scénarios de défaillance du barrage des Cambous. La rupture du barrage de Sainte Cécile d'Andorge en amont n'est finalement plus l'Evènement Initiateur prépondérant dans les Evènements Redoutés Centraux du barrage des Cambous (cf. chapitre 8).



3.3.6 Enjeux de la zone aval

Cette description se base sur l'étude de propagation de l'onde de submersion réalisée pour le barrage des Cambous en 2017 [Réf 1].

3.3.6.1 Zones d'activités et infrastructures

La base de données CORINE Land Cover (CLC) est utilisée pour décrire les zones d'activités dans la vallée potentiellement impactées par une rupture éventuelle du barrage des Cambous. Les données d'occupation des sols permettent en effet de se rendre compte des enjeux majeurs qu'il convient de préserver.

En termes d'activités industrielles et commerciales, la vallée concernée par l'onde de submersion issue d'une rupture du barrage des Cambous comporte plusieurs enjeux. En effet, les cartes en chapitre 10 indiquent que le territoire occupant la vallée est occupé par des zones industrielles et commerciales, notamment au niveau des secteurs de la Grand-Combe entre les PK5 et PK9, et d'Alès, entre les PK19 et PK25.

Le tableau ci-dessous recense les surfaces d'occupation impactées par l'onde de submersion en fonction du temps d'arrivée de l'onde.



Tableau 14 : Surfaces d'occupation des sols impactées par l'onde de submersion

Surface d'occupation du sol (CLC18) de l'onde de submersion en ha			
Onde de submersion	Surface en ha	CODE CLC	Libellé
0h05	8,81	112	Tissu urbain discontinu
0h05	6,42	313	Forêts mélangées
0h10	7,31	112	Tissu urbain discontinu
0h10	0,01	313	Forêts mélangées
0h15	14,12	112	Tissu urbain discontinu
0h15	4,68	313	Forêts mélangées
0h30	54,02	112	Tissu urbain discontinu
0h30	3,38	121	Zones industrielles ou commerciales et installations publiques
0h30	0,00	311	Forêts de feuillus
0h44	22,19	112	Tissu urbain discontinu
0h44	11,07	121	Zones industrielles ou commerciales et installations publiques
0h44	10,16	132	Décharges
1h00	0,54	121	Zones industrielles ou commerciales et installations publiques
1h00	18,03	132	Décharges
1h00	41,82	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels impor*
1h00	3,07	311	Forêts de feuillus
1h30	2,84	112	Tissu urbain discontinu
1h30	23,49	231	Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole
1h30	10,13	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels impor*
2h00	20,15	112	Tissu urbain discontinu
2h00	1,66	231	Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole
2h00	13,13	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
2h00	0,07	311	Forêts de feuillus
2h00	0,01	312	Forêts de conifères
2h30	1,52	111	Tissu urbain continu
2h30	28,64	112	Tissu urbain discontinu
2h30	0,30	121	Zones industrielles ou commerciales et installations publiques
2h30	0,01	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
3h02	3,07	112	Tissu urbain discontinu
3h02	1,63	121	Zones industrielles ou commerciales et installations publiques
3h02	17,98	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
3h02	15,26	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels impor*
3h32	3,35	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
3h32	22,42	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels impor*
3h32	12,07	311	Forêts de feuillus
4h02	2,05	211	Terres arables hors périmètres d'irrigation
4h02	11,26	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels impor*
4h02	17,69	311	Forêts de feuillus
4h33	12,07	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels impor*
4h33	1,26	311	Forêts de feuillus
4h45	9,13	242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes
4h45	6,92	243	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels impor*
4h45	9,90	311	Forêts de feuillus



3.3.6.2 Zones d'habitations

A l'aval du barrage des Cambous, la vallée du Gardon d'Alès traverse notamment les communes suivantes :

- Branoux-Les-Taillades ;
- Laval Pradel ;
- Les Salles-Du-Gardon ;
- La Grand Combe ;
- Cendras ;
- Alès ;
- Saint-Martin-De-Valgalgues ;
- Saint-Hilaire-De-Brethmas ;
- Saint-Christol-Les-Ales ;
- Moussac ;
- La Calmette ;
- Collias ;
- Remoulins ;
- Montfrin ;
- Aramon.

Ces communes représentent une population totale de 82 000 personnes environ. Certaines de ces villes seraient vraisemblablement très peu touchées même en cas de rupture instantanée du barrage (cf. cartes §10).

Dans la vallée entre le barrage des Cambous et Alès, la population potentiellement touchée par une inondation se regroupe essentiellement dans les villages de La Grand Combe (PK7), Saint-Martin de Valgalgues (PK15 et 16) et Alès (PK21, 22 et 23).

D'après les données CORINE Land Cover représentées sur la carte ci-dessous, on observe que plusieurs zones dites « tissu urbain continu » sont traversées et que plusieurs zones dites « tissu urbain discontinu » sont impactées. Ces deux types de zones sont les plus densément peuplés.

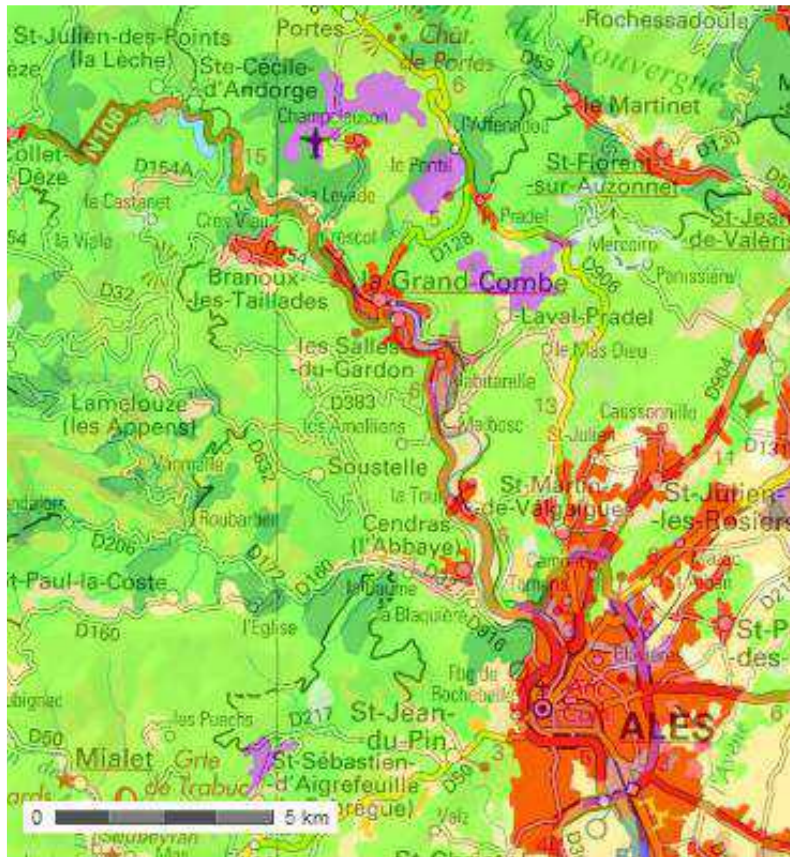


Figure 50 : Carte d'occupation du territoire sur la zone aval du barrage

3.3.6.3 Etablissements recevant du public (ERP)

Après analyse du PPI de Sainte-Cécile d'Andorge, on peut recenser à titre informatif, les établissements scolaires faisant partie des Etablissements Recevant du Public (ERP) situés à l'aval du barrage et pouvant être impactés :

- 24 écoles (La Grande-Combe (2), Les Salles du Gardon (4), Alès (18)) ;
- 5 collèges (La Grande-Combe (2), Alès (3)) ;
- 4 lycées (La Grande-Combe (1), Alès (3)).

L'analyse du PCS de la Grande Combe permet de compléter cette liste par les établissements suivants :

- 1 gymnase ;
- 3 églises, 1 mosquée et 1 temple protestant ;
- 1 supermarché.

3.3.6.4 Infrastructures de transport

De nombreuses voies de communications sont susceptibles d'être entièrement ou partiellement coupées en cas de rupture du barrage des Cambous. Elles sont listées dans le tableau suivant :



Tableau 15 : Infrastructures de transport, zone aval

Infrastructures de transport	Dénomination	Localisation	Commentaire
Routes	D357	PK0 à 2	Traverse le Gardon puis le longe en rive droite
	RN106	PK0 à 54	Axe principal, longe le Gardon
	D297A	PK10 à 11	Longe le Gardon dans le prolongement de RD297
	D916	PK15 à 21	Longe le Gardon en rive droite
	D32A	PK17	Prolongement vers l'Ouest de la RD32
	D328	PK2	Rive gauche
	D385	PK20 à 25	Traverse le Gardon puis le longe en rive droite
	D50	PK25	Relie Alès aux villages situés au Sud-Ouest
	D280	PK25 à 28	Longe le Gardon en rive gauche
	D936	PK25 à 39	Longe le Gardon en rive gauche
	D32	PK3 à 17	Relie Cendras à Branoux-Les-Taillades par l'Ouest
	D728	PK4	Rive gauche
	D361	PK4	Relie Branoux à la RN106, Rive Droite
	D286	PK5 à 7	Relie Champclauson à La Grand-Combe, Rive Gauche
	D154	PK6	Relie Branoux à la RN106, Rive Droite
	D128	PK7	Transversale au Gardon
	D297	PK7.5 à 10	Relie La Grand-Combe à Laval Pradel, Rive Gauche
	D283	PK8	Relie Les Salles des Gardons aux villages plus à l'Ouest
	D283A	PK8	Dans le prolongement Ouest de D283
	D383A	PK9	Relie Les Salles des Gardons aux villages plus à l'Ouest



Voies ferrées		Le long du Gardon, depuis le barrage	Rive gauche, ligne Nîmes – Saint Germain des Fossés
		PK20	Ligne Alès - Bessèges

Des ponts et ouvrages traversant sont présents sur le linéaire de la rivière. Les principaux sont les ponts de la RD357 (PK0,1), de la RN106 (PK3, PK15 et PK40), de la Grand-Combe sur la RD234 (PK7,5), de la traversée d'Alès (PK20, 21, 22, 22.5 et 25).

3.4 ANALYSE FONCTIONNELLE EXTERNE

L'analyse fonctionnelle externe consiste à analyser les fonctions que doit remplir le barrage dans son ensemble vis-à-vis de son environnement et des milieux extérieurs.

Les fonctions remplies par l'ouvrage vis-à-vis de chaque milieu extérieur sont listées dans l'analyse fonctionnelle interne de l'ouvrage.

On distingue les fonctions principales qui sont les fonctions essentielles pour lesquelles le système a été réalisé, des fonctions de contraintes résultant de l'action ou de la réaction du système face aux contraintes externes.

Cette analyse, couplée à l'analyse fonctionnelle interne de l'ouvrage, permettra à la rubrique 8 de l'étude de dangers d'imaginer des scénarios de défaillance susceptibles de toucher l'ouvrage.

3.4.1 Fonctions principales

Ces fonctions essentielles sont celles pour lesquelles le barrage a été réalisé.

Tableau 16 : Fonctions principales de l'analyse fonctionnelle externe

Référence	Fonction
FP1	Le barrage retient l'eau de la retenue
FP2	Le barrage assure le transit des crues

3.4.2 Fonctions contraintes

Les fonctions contraintes, résultant de l'interaction entre le système et le milieu extérieur sont listées dans le tableau suivant. Elles sont réparties en six thèmes.



Tableau 17 : Fonctions contraintes issues de l'analyse fonctionnelle externe

Référence	Fonction
EVENEMENTS EXTERIEURS EXCEPTIONNELS	
FC1.1	Résister aux sollicitations exceptionnelles dues au passage de crue (poussées hydrauliques notamment)
FC1.2	Résister aux vagues dues au vent
FC1.3	Résister aux embâcles et matériaux transportés par une crue
FC1.4	Résister aux sollicitations exceptionnelles dues à un séisme : glissement, cisaillement
GEOLOGIE DU SITE	
FC2	Résister à un éboulement proche de l'ouvrage ou causant une vague importante dans la retenue venant impacter le barrage
ACTIVITES DE L'HOMME EN AVAL	
FC3	Maitriser les volumes d'eau lâchés à l'aval
ENVIRONNEMENT LIE A L'EAU EN AVAL	
FC4	Restituer les débits dans de bonnes conditions hydrauliques (respect du règlement d'eau)
EXPLOITATION	
FC5.1	Les voies d'accès sont praticables par le personnel d'exploitation en toutes circonstances
FC5.2	Le barrage est alimenté électriquement
ACTIVITES DE L'HOMME EN AMONT	
FC6	Activités touristiques

3.4.3 Diagramme d'analyse fonctionnelle

L'intégration du barrage dans son environnement peut être résumée à l'aide du diagramme fonctionnel suivant :

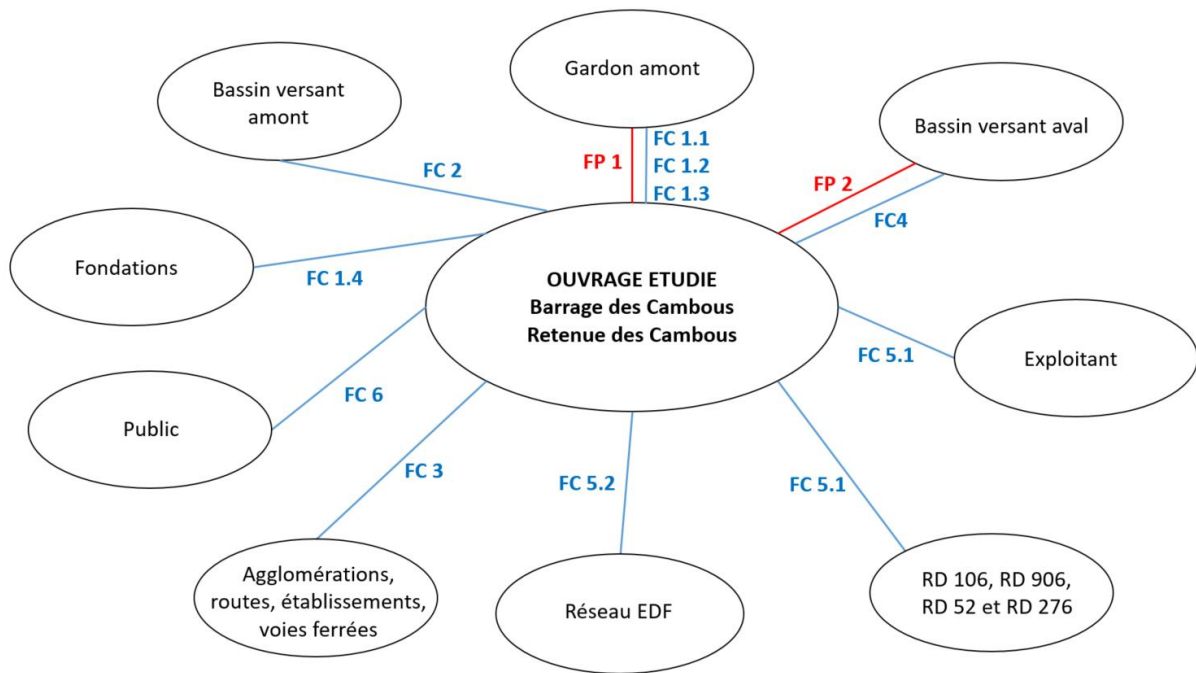


Figure 51 : Diagramme d'analyse fonctionnelle externe



4 POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS ET SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE

4.1 TEXTES PARTICULIERS APPLICABLES

En s'appuyant sur les documents relatifs à l'exploitation et les consignes de surveillance pour assurer l'exploitation de l'ouvrage, son entretien et sa surveillance, cette rubrique présente le cadre de la politique de prévention des accidents majeurs définie par le responsable de l'ouvrage (propriétaire, exploitant, ou concessionnaire pour un ouvrage concédé), ainsi que les éléments du système de gestion de la sécurité qui en découle de manière spécifique pour le barrage, au moment de l'élaboration de l'analyse de risques.

Les textes relatifs à l'exploitation de l'ouvrage sont :

- le règlement d'eau du barrage des Cambous approuvé par l'arrêté préfectoral de février 1955,
- l'arrêté préfectoral n°2002-51-7 du 20 février 2002 modifié par l'arrêté n°2002- 198-4 du 17 juillet 2002 déclarant d'intérêt général et autorisant la rénovation du barrage des Cambous,
- l'arrêté préfectoral du 28 mars 2003 fixant des prescriptions complémentaires aux arrêtés de 2002 déclarant d'intérêt général et autorisant la rénovation du barrage des Cambous,
- les consignes écrites prévues à l'article R.214-122 du Code de l'Environnement,
- l'arrêté n°2007-341-11 du 7 décembre 2007 portant prescriptions complémentaires pour le barrage des Cambous sur le Gardon d'Alès intéressant la sécurité publique,
- l'arrêté n°201039-14 du 8 février 2010 portant interdiction d'accès au lit et aux berges du Gardon à l'amont et à l'aval du barrage des Cambous,
- les courriers échangés entre le Conseil Général et la DDTM 30 (2011-2012) modifiant le Règlement d'Eau pour essai de manœuvre en charge des vannes de vidange et abaissement spécifique du plan d'eau pour auscultation (mesure des drains aval).

Les points qui suivent se basent sur les documents cités ci-avant. Le lecteur pourra s'y référer pour plus de détails.

4.2 POLITIQUE DE PREVENTION DES ACCIDENTS MAJEURS (PPAM)

La PPAM est menée en accord avec les objectifs de l'exploitation, sous le respect des exigences réglementaires tout en faisant en sorte d'améliorer sans cesse l'efficacité du système de prévention des accidents. Elle doit aboutir à des objectifs à atteindre, être communiquée et comprise auprès des services concernés du Maître d'Ouvrage et de tous ses intervenants et être mise à jour fréquemment.

4.3 SYSTEME DE GESTION DE LA SECURITE (SGS)

Le Système de Gestion de la Sécurité (SGS) décrit l'ensemble des moyens mis en œuvre par le responsable de l'ouvrage pour répondre à la PPAM. Il est détaillé dans le SGS de septembre 2019 portant sur l'ensemble des barrages du département du Gard [Réf 24].



4.3.1 Organisation du maitre d'ouvrage

Le Département du Gard est propriétaire du barrage des Cambous et en assure l'exploitation et la maintenance, en période normale et en période de crise, en respectant les exigences réglementaires (générales et spécifiques, notamment définies dans le Règlement d'Eau du barrage) et en veillant à une gestion durable et concertée de la ressource en eau.

Afin de s'assurer que le niveau de sûreté de son ouvrage soit satisfaisant, les missions du Maître d'Ouvrage sont :

- De répondre aux obligations réglementaires ;
- De mettre en place une organisation intégrant des ressources internes et un prestataire de services/sous-traitant pour gérer les ouvrages ;
- De fournir les ressources financières nécessaires pour mener à bien les missions dédiées à la sûreté du barrage.

Cette mission inclut les opérations de gestion hydraulique et de surveillance présentées dans les consignes écrites d'exploitation hors crue et dans les consignes d'exploitation en période de crue.

Le personnel affecté à ces missions est rattaché à la Direction de l'Eau et de la Valorisation du Patrimoine Naturel – Service des Grands Ouvrages Hydrauliques et se répartit entre le site du barrage et Nîmes (chef de service, responsable d'exploitation, ingénieurs, technicien barrage, surveillants de barrage et personnel administratif).

L'organisation spécifique mise en place permet d'assurer la surveillance et l'exploitation en toutes circonstances. La continuité du service est garantie par la mise en place d'astreinte programmée chaque week-end et jour férié de l'année. Des astreintes non programmées de nuit en semaine peuvent également être décidées au cas par cas selon les événements.

Le Département du Gard est également assisté, via un marché de services, par un prestataire extérieur, agréé au titre du Code de l'Environnement (articles R.214-148 à 214-151), pour :

- Le contrôle et l'interprétation des données d'auscultation ;
- La réalisation des Visites Techniques Approfondies ;
- La rédaction des rapports de surveillance ;
- L'aide à la programmation des travaux de maintenance et d'amélioration ;
- L'assistance pour les visites de contrôle ;
- Des inspections particulières suite à événement exceptionnel ;
- Une veille réglementaire.

Les outils d'information sur la situation hydrométéorologique du bassin versant concerné (tous accessibles par internet) et les moyens de communication entre Nîmes et le local de surveillance du barrage sont indispensables au fonctionnement optimal du service. Toutefois, des moyens dégradés sont également prévus pour que le surveillant de barrage puisse agir de façon autonome sur site.

ORGANISATION INTERNE

Le Conseil Départemental du Gard est propriétaire et exploitant de 7 ouvrages hydrauliques dont le barrage des Cambous. La surveillance, la gestion et le suivi de ces ouvrages hydrauliques est à la charge du service des Grands Ouvrages Hydrauliques (SGOH) de la Direction de l'Eau et Valorisation du Patrimoine Naturel (DEVPN). Il comprend :

- Un pôle exploitation composé 5 surveillants de barrage, un technicien barrage et un responsable d'exploitation ;



- Un pôle ingénierie composé de 3 ingénieurs ;
- Un chef de service appuyé d'un secrétariat.

En complément, d'autres directions du Conseil Départemental interviennent en appui dans des domaines spécifiques (Informatique, Bâtiment, Commande Publique, ...)

L'organigramme opérationnel du Service des Grands Ouvrages Hydrauliques est présenté dans le « règlement intérieur exploitation des barrages et aménagements hydrauliques » [Réf 25], dont un extrait est présenté ci-dessous.

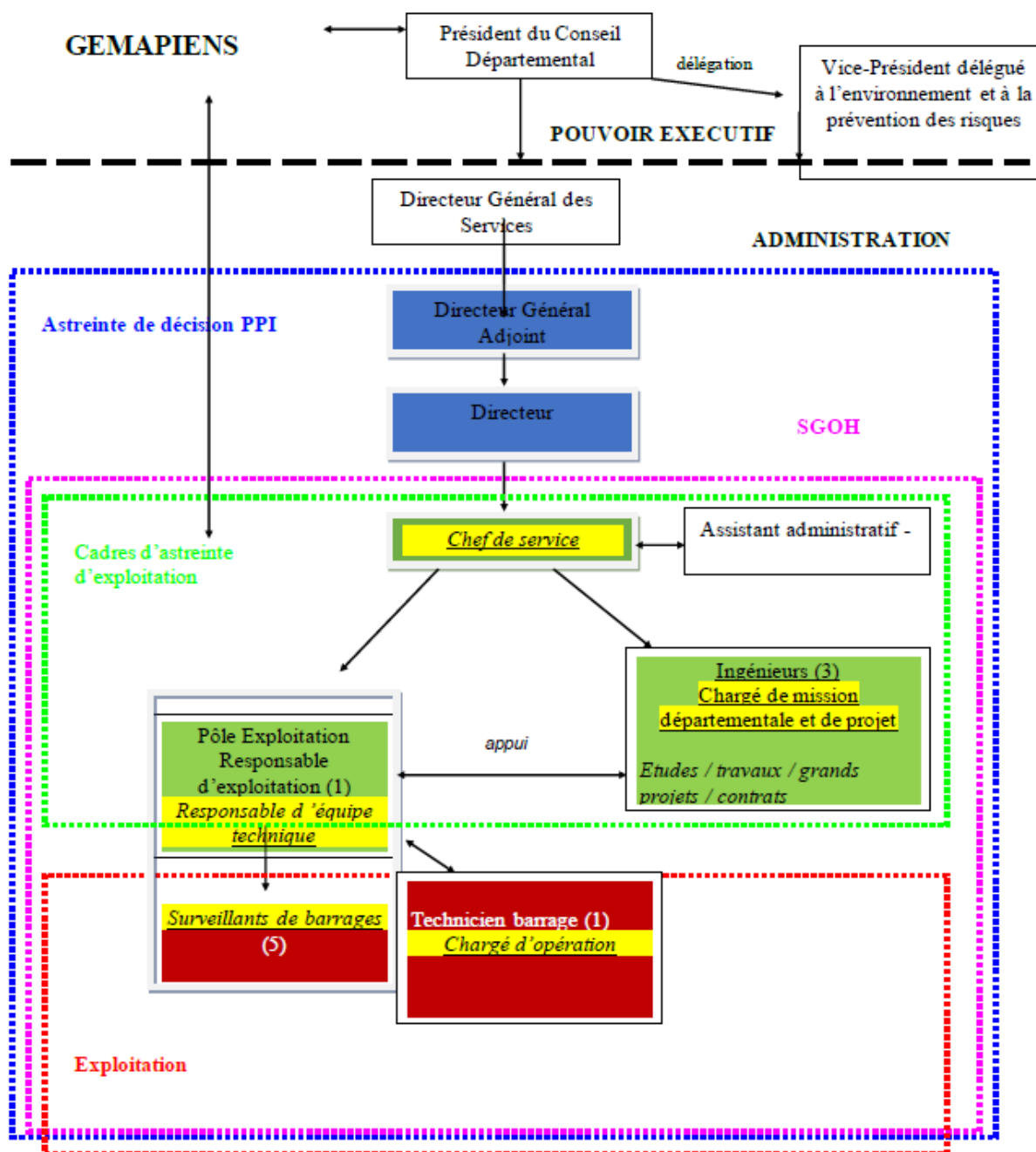


Figure 52 : Organigramme du SGOH

Source : Règlement intérieur exploitation des barrages et aménagements hydrauliques CD30 (2020)



Au sein du service SGOH, les missions des pôles sont les suivantes :

- **Le chef de service représente l'autorité hiérarchique** de l'ensemble des agents affectés au Service Grands Ouvrages Hydrauliques (SGOH)

Ses prises de décisions sont subordonnées à toute décision émanant du :

- Directeur de la Direction de l'Eau et de la Valorisation du Patrimoine Naturel ;
- Directeur Général Adjoint Développement et Cadre de Vie ;
- Directeur Général des Services ;
- Président du Département du Gard ou Vice-Président délégué à cette mission.

- **L'ingénierie** est en charge des opérations « Études et Gros Travaux » (élaboration des marchés et suivi des prestations), des contrats liés aux obligations réglementaires (renouvellement des marchés et suivi des prestataires) et du suivi des demandes formulées par les services de contrôle.

L'ingénierie peut disposer de compétences d'ingénierie diverses (ingénieur hydraulique) qui peuvent être spécifiées dans des fiches de fonction individuelles.

L'Ingénierie constitue également un appui au pôle exploitation après sollicitation de celui-ci et validation du chef de service. Il peut intervenir :

- Pour formuler des avis techniques (dysfonctionnement d'équipement, travaux d'exploitation, ...) ;
- Pour le suivi d'opérations spécifiques (soutien d'étiage, protocole de vidange, ...) ;
- Pour la mise à jour de procédures ou documentations techniques ;
- Pour suppléer le responsable d'exploitation dans l'application des consignes de surveillance.

- **Le pôle exploitation** est en charge de l'exploitation courante et en crue des barrages et des ouvrages hydrauliques. Il assure la gestion en régie des procédures d'exploitation et de maintenance, le respect des consignes de surveillance et les travaux d'exploitation. Il est composé :

- Du **responsable d'exploitation** qui est chargé de l'animation du pôle exploitation des ouvrages. Il assure une autorité hiérarchique sur l'ensemble des surveillants de barrages et du technicien dans le cadre de la gestion et l'exploitation des ouvrages. Dans le cadre de ses fonctions, il fédère, répartit les tâches et missions, anime et priorise. Il s'assure de la bonne application des consignes de surveillance et veille au suivi des situations hydrométéorologiques et hydrologiques. Il s'appuie sur l'animation du (des) ingénieur(s) barrage(s) dans la bonne application des consignes de surveillance et de la réglementation liée aux barrages et aménagements hydrauliques ;
- Du **technicien barrage**, qui intervient en appui au responsable d'exploitation, sans autorité hiérarchique sur les surveillants de barrage. Il peut également assurer un rôle de surveillant de barrage suppléant en cas de besoin ;
- Des surveillants de barrage au nombre minimum de 5, sans autorité hiérarchique entre eux. Ils peuvent développer ou être amenés à assurer, en fonction de leur compétence et des besoins, des missions particulières ou bien le portage d'opérations spécifiques.

ASTREINTE

En période d'astreinte :

- Les cadres d'astreinte sont le chef de service, les ingénieurs du service et le responsable d'exploitation. Ils assurent les astreintes programmées pendant les week-ends et jours fériés, et les astreintes non programmées sous l'autorité du chef de service. Ils sont au nombre minimum de 4. En période d'astreinte, ils disposent de l'autorité fonctionnelle sur les surveillants ainsi que les délégations afférentes au lancement de prestations d'assistance technique ou de retrait des corps flottants.



Hors procédure liée à un Plan Particulier d'Intervention (PPI), la hiérarchie (chef de service et Directeur DEVPN) est tenue informée de l'évolution des événements sans nécessiter d'intervention particulière.

Dans le cadre d'une procédure PPI le service est renforcée par la présence systématique de la « Personne physique expressément chargée de donner l'alerte » à savoir :

- Titulaire : le Directeur Général Adjoint Développement et Cadre de Vie ;
- 1^{er} suppléant : le Directeur de l'Eau et de la valorisation du patrimoine naturel ;
- 2^{ème} suppléant : le chef de service grands ouvrages hydrauliques ;
- 3^{ème} suppléant : le responsable d'exploitation.

Toutefois, en période de crise, en cas d'impossibilité de contact (formel ou informel, après essai de tous les moyens de communication) avec un supérieur hiérarchique (cadre d'astreinte, ingénieur, chef de service, directeur, Directeur Général Adjoint), les surveillants de barrage disposent d'une autonomie de décision totale, dans le respect des règlements de sécurité des ouvrages (réglementation générale, règlements d'eau spécifiques, Plans d'Alerte ou Plans Particuliers d'Intervention, manuels de procédures...).

Les conditions des astreintes non programmées sont définies au cas par cas selon les besoins, notamment les conditions hydrométéorologiques. Un cadre d'astreinte est systématiquement concerné. Le nombre de surveillants sera défini en fonction du besoin et les agents sont désignés par l'autorité hiérarchique, après discussion avec les agents. Priorité est faite auprès des surveillants de barrage disposant d'une résidence administrative à proximité des sites (segment Vidourle et segment Cèze Gardon).

- Les astreintes « d'équinoxes » programmées s'appliquent les week-ends (du vendredi soir 17h au lundi matin 8h30) et jours fériés pendant les périodes d'équinoxe :
 - De printemps : du 15 mars au 15 mai ;
 - D'automne : du 1^{er} septembre au 30 novembre.

Elles concernent 1 cadre et 2 surveillants de barrage.

Pendant les astreintes « d'équinoxe », les agents doivent être joignables en permanence par téléphone portable et :

- Les cadres doivent pouvoir disposer d'un accès internet dans un délai de 30 min et doivent pouvoir se rendre au Département à Nîmes (PC crise) dans un délai d'1h30 ;
 - Les surveillants doivent pouvoir se rendre sur le segment auquel ils sont affectés dans un délai de 2h30 maximum ;
- Les astreintes « de surveillance » programmées s'appliquent les week-ends (de vendredi soir 17h au lundi matin 8h30) et jours fériés en dehors des périodes d'équinoxe :
 - D'hiver : du 1^{er} décembre au 14 mars ;
 - D'été : du 1^{er} juin au 31 août.

Elles concernent uniquement un cadre. Pendant les astreintes « de surveillance », le cadre doit être joignable en téléphone portable, doit pouvoir disposer d'un accès internet dans un délai de 120 min et doit pouvoir se rendre au Conseil Départemental à Nîmes (PC crise) dans un délai de 4h00.

FORMATION DES AGENTS

Le Conseil Départemental dispose d'un plan de formation spécifique à la technicité de l'emploi et à la santé/sécurité au travail. Les agents du service des Grands Ouvrages Hydrauliques réalisent régulièrement des formations de recyclage spécifiques à la santé/sécurité au travail (risques électrique, incendie, travail en hauteur par exemple).

Dans le cadre de l'amélioration permanente des conditions de santé et sécurité au travail, les surveillants de barrage sont désignés « acteur local » sur site afin de faire remonter tout dysfonctionnement lié à la santé/sécurité au travail.



Les besoins spécifiques et individuels en formation sont évoqués au cours de l'évaluation annuelle.

4.3.2 Consigne de surveillance en exploitation normale

L'ouvrage est considéré en période normale lorsqu'aucune préoccupation relative à la tenue et à la sûreté de l'ouvrage n'est détectée.

L'organisation mise en place pour la surveillance en toutes circonstances et l'exploitation en crue de l'ouvrage est principalement décrite dans le document suivant :

- Barrage des Cambous. Consignes écrites de surveillance et d'exploitation en toutes circonstances. Département du Gard. Novembre 2022 [Réf 6].

Le détail des tests et essais de routine sont décrits dans les rapports de surveillance annuels de l'exploitant.

Une analyse de ces consignes et de la surveillance mise en place fait l'objet d'un paragraphe ci-après.

4.3.2.1 Entretien courant

Les opérations d'entretien et de maintenance :

- Générale avec points d'attention sur la retenue, les accès, le dispositif d'auscultation ;
- Sur l'ensemble des vannes et des composants de la chaîne cinématique ;
- Sur le matériel électrique (contrôle annuel effectué par une entreprise spécialisée) ;

sont inscrites aux consignes. Les procédures pour la réalisation de la maintenance, entretien, et concernant les astreintes sont listées aux consignes et numérotées.

Chaque opération d'entretien est consignée dans le registre du barrage.

4.3.2.2 Essais des organes de sécurité

Des essais de manœuvre des vannes sont régulièrement réalisés, le détail est décrit dans les paragraphes ci-dessous.



ETAT EXISTANT

Vannes de restitution

VANNES DE RESTITUTION		
Nombre : 1 vanne de garde de type papillon et 1 vanne de réglage de type jet creux		
Position : Vanne de garde et Vanne de réglage 100 % fermée, hors période de soutien d'étiage		
Particularité : Les essais de la vanne de réglage s'effectuent toujours en charge, c'est à dire avec une vanne de garde ouverte		
Principe :		
1 - Ouverture totale de la vanne de garde (papillon)		
2 - Ouverture partielle de la vanne à jet creux		
3 - Fermeture totale de la vanne à jet creux		
4 - Fermeture totale de la vanne de garde (papillon)		
Janvier	Manœuvre manuelle	Selon principe indiqué ci-dessus
Février		
Mars		
Avril		
Mai		
Juin		
Juillet		
Août		
Septembre ¹		
Octobre ¹		
Novembre	Manœuvre manuelle	Selon principe indiqué ci-dessus
Décembre		

¹ : Essais non réalisés en période de soutien d'étiage

Figure 53 : Essais de manœuvre des vannes de restitution

Vannes de vidange

VANNES DE VIDANGE		
Nombre : 1 vanne de garde de type papillon et 1 vanne de réglage de type jet creux		
Position : Vanne de garde et Vanne de réglage 100 % fermée		
Particularité : Les essais de la vanne de réglage s'effectuent toujours en charge, c'est à dire avec une vanne de garde ouverte		
Principe :		
1 - Ouverture totale de la vanne de garde (papillon)		
2 - Ouverture partielle de la vanne à jet creux		
3 - Fermeture totale de la vanne à jet creux		
4 - Fermeture totale de la vanne de garde (papillon)		
Janvier	Manœuvre manuelle	Selon principe indiqué ci-dessus
Février		
Mars		
Avril		
Mai		
Juin		
Juillet		
Août		
Septembre ¹		
Octobre ¹		
Novembre	Manœuvre manuelle	Selon principe indiqué ci-dessus
Décembre		

¹ : Essais non réalisés en période de soutien d'étiage

Figure 54 : Essais de manœuvre des vannes de vidange

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU COMPLEXE HYDRAULIQUE

Cf. paragraphe 4.4.



APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU COMPLEXE HYDRAULIQUE

Après les travaux de sécurisation du barrage des Cambous, la fréquence et les principes des essais seront conservés.

Seul le type de vanne (vidange et restitution) est modifié de la façon suivante :

1 vanne de garde de type papillon et 1 vanne de réglage de type annulaire à piston.

4.3.2.3 Visites de surveillance

ETAT EXISTANT

La surveillance du barrage des Cambous s'effectue par l'application des procédures suivantes :

- Procédure E20 : Opération de contrôle hebdomadaire ;
- Procédure E23 : Opération de contrôle mensuelle incluant notamment les mesures d'auscultations et les essais de vannes ;
- Procédures spécifiques de maintenance Mxx pour les opérations particulières.

Procédure E20 : Opération de contrôle hebdomadaire		Périodicité	
		Surveillant	Encadrement
Contrôle visuel externe de l'ouvrage	Conditions météorologiques	Hebdomadaire	Annuelle
	Mesure de la cote du plan d'eau		
	Accès / cheminement		
	Crête		
	Parement aval		
Contrôle visuel interne de l'ouvrage	Parement amont		
	Ligne de signalisation amont		
	Génie civil des galeries		
	Réseau d'éclairage des galeries		
Contrôle du matériel	Vantelleries		
	Pompe immergée		
	Dispositif d'auscultation (+ nettoyage)		
	Station pluviométrique		
	Echelles de crue		

Figure 55 : Description de la procédure E20 sur les opérations de contrôle hebdomadaire

Procédure E23 : Opération de contrôle mensuelle		Périodicité	
		Surveillant	Encadrement
	Contrôles électriques	Mensuelle	Annuelle
	Contrôles télécom		
	Contrôle des projecteurs et des prises		
	Manœuvre du treuil		
	Manœuvre de la potence et du grappin		
	Inspection générale retenue/berges		
	Essais des vannes		

Figure 56 : Description de la procédure E23 sur les opérations de contrôle mensuelles

Procédure M.. : Opérations particulières		Périodicité	
		Surveillant	Encadrement
	Inspection visuelle du câble de la prise à niveau variable de la conduite de restitution	Triennale (organisme de contrôle)	/
	M43 : Manœuvre d'ouverture totale des vannes à jets creux de restitution et de vidange	Annuelle	
	M45 : Contrôle visuel de la crépine de la prise à niveau variable de la conduite de restitution	Semestrielle	
	M46 : Essai de batardage de la conduite de vidange (boule batardeau)	Biennale	
	M84 : Contrôle bathymétrique du pied amont du barrage	Biennale	

Figure 57 : Description des procédures M43, M45, M46 et M84 sur les opérations particulières

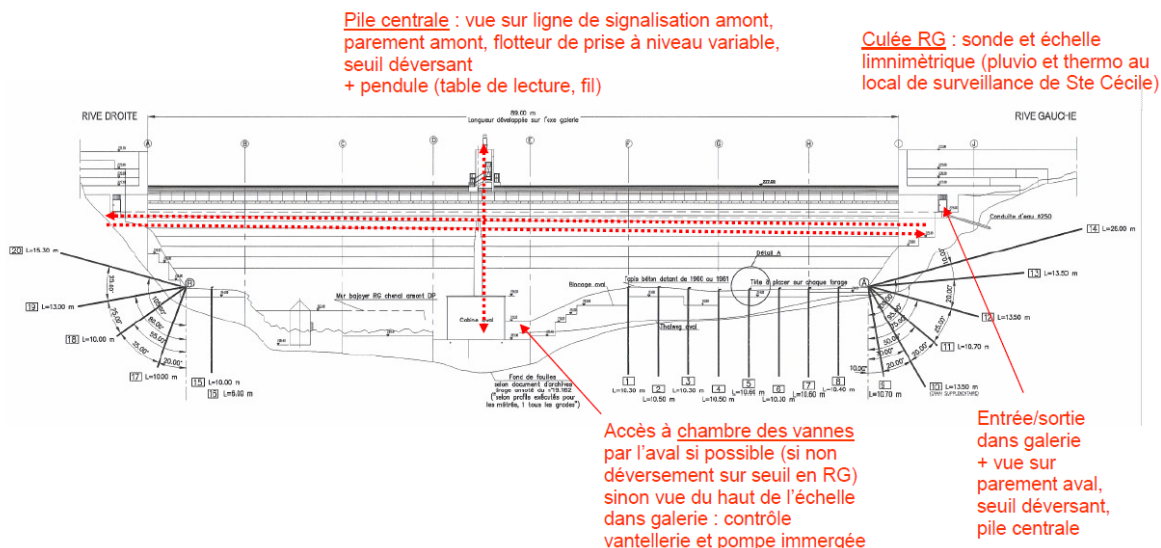


Figure 58 : Schéma du parcours de la visite de surveillance hebdomadaire

PENDANT LES TRAVAUX DE SECURISATION DU COMPLEXE HYDRAULIQUE

Cf. paragraphe 4.4.

APRES LES TRAVAUX DE SECURISATION DU COMPLEXE HYDRAULIQUE

Les modifications induites par les travaux nécessiteront une mise à jour de la procédure M43 relative à la manœuvre totale des vannes de réglage des circuits de restitution et de vidange.

Les essais de vannes décrits dans la procédure E23 seront également à actualiser.

D'une manière générale, l'ensemble des procédures faisant référence actuellement aux vannes à jets-creux seront à amender vis-à-vis des travaux réalisés sur la vantellerie du barrage.

De la même manière, l'ajout de nouveaux équipements d'auscultation (drains, débitmètres, pendules, vinchons,...) et la modernisation des dispositifs existants (drains RG) aboutiront à une refonte des documents qui y font référence.

4.3.2.4 Rapport de surveillance

Le rapport de surveillance est établi par le Conseil Départemental du Gard, en charge de l'exploitation, à une fréquence annuelle. Pour le rédiger, le Conseil Départemental du Gard s'appuie notamment sur les informations consignées dans le registre. Il comprend des éléments synthétiques sur :

- Introduction et synthèse hydraulique : cotes caractéristiques de l'ouvrage, évolution du plan d'eau et cumul pluvieux, crues observées avec les rapports de crues annexés ;
- Bilan de surveillance : tournées d'inspection hebdomadaires, tournées d'inspection mensuelles, inspections particulières (suite à événement particulier : crue majeure, séisme...), synthèse des constatations effectuées lors des tournées d'inspection (hors VTA), tournées d'auscultation (mensuelle et en crue), manœuvres des vannes, opérations particulières, déclarations PSH et EISH, conclusion ;
- Les travaux effectués au cours de la période, que ce soit en entretien programmé, entretien curatif, renouvellement ou modernisation des ouvrages et matériels ;



Le rapport de surveillance contient également le dernier rapport VTA rédigé par le bureau d'études agréé :

- Date et conditions de visite, programme et circuit de visite ;
- Observations de visite selon programme et circuit de visite ;
- Conclusions et recommandations : recommandations et préconisation pouvant intéresser la sûreté de l'ouvrage, recommandations et préconisation destinées à la surveillance et entretien des ouvrages ;
- Propositions de programme de travaux.

Selon leurs conséquences, certains des incidents ou événements particuliers survenus peuvent entraîner une déclaration d'évènement important pour la sûreté hydraulique (EISH) ou de précurseur de la sûreté hydraulique (PSH). Dans ce cas, une copie de la déclaration est annexée au rapport de surveillance.

4.3.2.5 Relevés d'auscultation

DISPOSITIFS DE MESURES

Le barrage des Cambous est équipé des dispositifs d'auscultation suivants mesurés en période normale et/ou en période de crue, et analysés annuellement dans le rapport d'auscultation. Les dispositifs supplémentaires installés suite aux travaux de sécurisation du barrage des Cambous sont indiqués en rouge dans le tableau ci-après :

Tableau 18 : Description des dispositifs d'auscultation du barrage des Cambous

Dispositifs	Nombre	Fréquence de mesure	
		Période normale	Période de crue
Hydrauliques (débit ou cote)	20 drains (puits) : - 14 en rive gauche - 6 en rive droite - + 2 piézomètres (un au droit de chaque culée) - + 3 cellules de pression interstitielle - + 4 drains complémentaires en aval rive droite - + 4 drains massif butée RD - + 2 collecteurs de débits en RD et RG pour mesure dans chambre aval	Trimestrielle (après abaissement spécifique du plan d'eau) + Mensuelle (quand accès possible)	Non (accès impossible pour les drains)
Pendule	1 (inversé) dans la pile centrale + 1 (inversé) en pied de barrage	Mensuelle	Oui pour le pendule de la pile Non pour le pendule en pied de barrage (chambre aval inaccessible en crue)



Ecartement de joints	2 vinchons entre barrage et culées + 6 vinchons en galerie de barrage	Mensuelle	Oui
Topométrie	Planimétrie : 17 cibles en aval réparties sur 2 niveaux du parement Altimétrie : 29 rivets dont <ul style="list-style-type: none"> - 4 sur la culée rive gauche - 21 sur le côté aval de la galerie - 2 en sortie de galerie en rive droite - 2 sur la culée rive droite 	Annuelle	Non

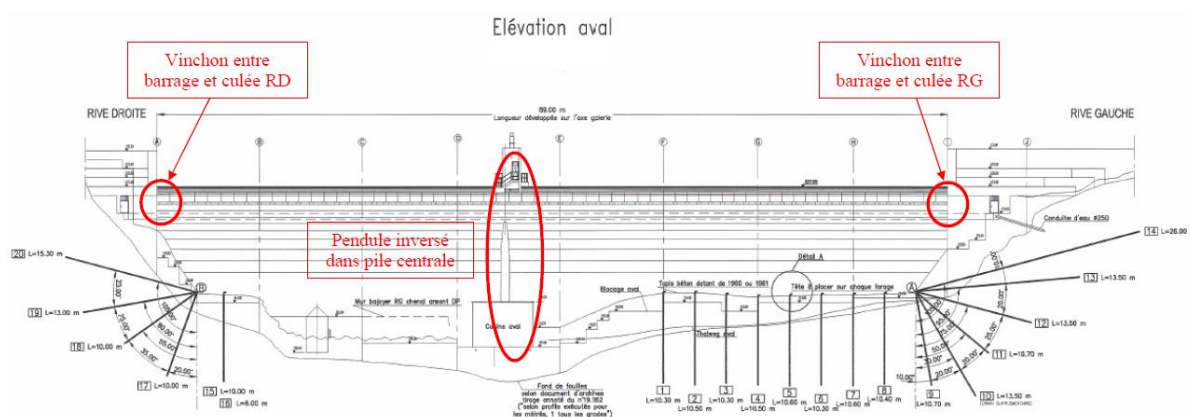


Figure 59 : Schéma des dispositifs d'auscultation actuels

PERIODICITE DES MESURES

Les mesures d'auscultation, leur périodicité et les acteurs sont récapitulées dans ce tableau :

Tableau 19 : Description des mesures d'auscultation réalisées sur le barrage des Cambous

Mesures d'auscultation	Acteurs	
	Surveillant	Encadrement
Tournée d'auscultation : <ul style="list-style-type: none"> - Mesures hydrauliques (débit ou cote piézométrique) - Mesure du pendule - Mesures d'écartement de joints 	Trimestrielle Mensuelle Mensuelle	2 ans
Campagne topographique	Annuelle par prestataire extérieur	

Le traitement et le contrôle des données d'auscultation se font comme suit :

- 1^{er} niveau (systématiquement à chaque mesure) : par le surveillant ;



- 2^{ème} niveau (systématiquement à chaque mesure) : par l'encadrement ;
- 3^{ème} niveau (trimestriellement et en cas d'anomalies détectées par les contrôles de niveaux inférieurs) : par un prestataire extérieur.

Après les travaux de sécurisation du complexe hydraulique :

Il est à noter que les drains déjà existants seront adaptés, les têtes des drains seront surmontées par des bouchons verrouillables avec filetage. La nouvelle configuration ne permettra plus la mesure individuelle des débits. En revanche, dans le cas de drains non débitants, la mesure individuelle en piézométrie reste possible.

L'exploitant réalise actuellement des mesures des drains en pied de barrage grâce à des abaissements volontaires de la cote du plan d'eau qui sont prévus trimestriellement par les consignes de surveillance et qui permettent d'interrompre les déversements au-dessus du barrage pour accéder aux drains. Le projet de sécurisation du complexe hydraulique permettra à terme de solutionner cette problématique. D'une part, par la mise en place d'un collecteur protégé (rive droite et rive gauche) permettant une mesure hydraulique depuis la chambre des vannes sans abaissement du plan d'eau et d'autre part par la modernisation de la vantellerie de restitution au bénéfice d'une vanne mieux dimensionnée et motorisée. Ces aménagements permettront de passer d'une fréquence trimestrielle de mesure à une fréquence mensuelle.

MODALITES DE VERIFICATION ET DE MAINTENANCE DES DISPOSITIFS DE MESURE

Les appareils de mesure sont contrôlés suivant ces modalités :

Tableau 20 : Modalités de contrôle des appareils de mesure du barrage des Cambous

Appareils	Périodicité	Acteur	Procédure
Chronomètre	1 an	Surveillant	M24 : Vérification, Contrôle, Entretien et Etalonnage des appareils de mesures
Eprouvettes 1L et 2L	1 an	Surveillant	
Sonde lumineuse	1 an	Surveillant	
Pied à coulisse	1 an	Surveillant	

En cas de défaillance, les appareils de mesure sont réparés ou remplacés.

Une mesure de la cote du plan d'eau est également effectuée de la façon suivante :

Tableau 21 : Modalités de mesure de la cote du plan d'eau

Dispositif de mesure de la cote du plan d'eau	Localisation	Propriétaire
Echelle de crue	Sur le parement amont, en rive gauche	Conseil Départemental
Sonde piézométrique	Dans le puits de l'ancien limnigraphe, en rive gauche + appareil d'enregistrement sur la culée rive gauche	Conseil Départemental

L'enregistrement des mesures de la sonde piézométrique se fait en continu au pas de temps de 5 min mais aucune télétransmission n'est prévue.

Aucun dispositif d'alarme automatique n'est relié à ces dispositifs de mesure.



4.3.2.6 Rapport d'auscultation

Le rapport d'auscultation est établi tous les ans. Il est rédigé par un prestataire extérieur également chargé de l'interprétation régulière des données d'auscultation.

Il analyse les mesures effectuées et conclut, après avoir analysé chaque type d'information, sur le comportement global de l'ouvrage en indiquant les préconisations de travaux et/ou prestations supplémentaires à réaliser en vue de maintenir le barrage dans un état satisfaisant.

Il comprend des éléments synthétiques sur :

- Introduction ;
- Plan d'eau ;
- Pluviométrie ;
- Mesures d'auscultation : vinchons, pendule, drains, piézomètres ;
- Mesures topographiques : rappel du réseau de mesures, contexte des mesures, analyse des mesures ;
- Conclusion.

Après les travaux de sécurisation du complexe hydraulique :

Le contenu des rapports d'auscultation évoluera en intégrant les nouveaux dispositifs à l'analyse. Aussi, plus les nouveaux dispositifs seront mesurés tôt après leur mise en œuvre plus l'historique des données pourra être interprété dans le rapport d'auscultation.

4.3.2.7 Visites techniques approfondies VTA

Tous les ans, le barrage des Cambous fait l'objet d'une visite technique approfondie, suivant le programme général et le circuit type de visite décrits ci-dessous.

Participent à cette visite :

- Le prestataire extérieur mentionné au chapitre 1 de la présente consigne ;
- L'encadrement ;
- Les surveillants de barrage.

PROGRAMME GENERAL

- Réunion préalable à la visite dans le local de surveillance du barrage : présentation du rapport d'auscultation, bilan de surveillance, bilan des travaux sur l'année écoulée, discussion sur points divers, etc. ;
- Visite de l'ouvrage (cf. détails du circuit) ;
- Vérification du registre barrage.

CIRCUIT VTA – CAMBOUS

- Aval du barrage (accès selon déversement) :
 - Etat du parement aval ;
 - Drains* ;
 - Chambre des vannes + essais de manœuvre (vannes de garde et jets creux) ;
 - Seuil aval ;
 - Autre : ...



- Galerie :
 - Etat des bétons ;
 - Vinchons* ;
 - Pendule* ;
 - Entretien de la galerie ;
 - Autre : ...
- Pile de service :
 - Etat des bétons ;
 - Test du treuil de relevage de la prise d'eau à niveau variable ;
 - Crépine de la prise d'eau à niveau variable ;
 - Potence et grappin ;
 - Autre : ...
- Seuil déversant :
 - Etat des bétons ;
 - Gestion des embâcles ;
 - Autre : ...
- Culées
- Signalisation amont
 - Ligne aérienne ;
- Retenue amont et berges
- Parement amont :
 - Etat du parement amont ;
 - Echelle limnimétrique ;
 - Autre : ...
- Signature du registre barrage
- Autre : ...

* Des mesures de contrôle, notamment méthodologiques, pourront être prévues, en lien avec l'interprétation des données d'auscultation.

RAPPORT DE VTA

Le rapport indique :

- les recommandations de la dernière visite et suite donnée,
- les observations relatives aux ouvrages de génie-civil,
- les observations relatives aux organes hydrauliques, vantellerie et contrôle-commande,
- les conclusions,
- et les recommandations du bureau d'études.

Après les travaux de sécurisation du complexe hydraulique :

Le parcours de la VTA sera complété/actualisé par :

- un examen visuel des parties d'ouvrages repris suite aux travaux (massif de butée rive droite, fosse aval, chambre aval) ;



- des essais sur les nouvelles vannes annulaires en lieu et place des essais réalisés sur les vannes à jet-creux actuelles.

4.3.2.8 Autres documents

Les contenus d'autres documents sont décrits ci-dessous.

REGISTRE DU BARRAGE

Le registre du barrage se présente sous la forme d'un document papier où tous les faits notables de la vie du barrage sont consignés de manière chronologique.

ETUDE DE DANGERS

L'étude de dangers est engagée par le Maître d'ouvrage, elle conduit à évaluer le niveau de sûreté du barrage et identifier les mesures de maîtrise des risques et/ou de réduction des risques en regard des bilans et du retour d'expérience.

4.3.3 Consignes de surveillance des ouvrages en état de veille

L'état de veille est déclenché à la publication d'une prévision de précipitations supérieures à 60 mm en 24 heures (valeurs moyennes).

L'état de veille peut également être caractérisé par des prévisions inférieures mais avec une cote haute du barrage ou par des prévisions inférieures mais faisant suite à un cumul pluvieux important durant les jours précédents ou selon des constatations particulières sur l'ouvrage. Ces conditions particulières sont évaluées en concertation entre le cadre responsable de l'exploitation et le surveillant de barrage. Des tournées d'auscultation à des cotes définies sont alors prévues.

Le lecteur est renvoyé au paragraphe 3.1.13.2 pour consulter les règles de surveillance s'appliquant sur le barrage des Cambous en état de veille.

4.3.4 Consignes de surveillance des ouvrages en situation exceptionnelle et d'exploitation en crue

L'état de crue est déclenché par le passage d'une cote de plan d'eau à 228 m NGF pour le barrage des Cambous. La surveillance de la cote du barrage est alors assurée régulièrement par le cadre responsable de l'exploitation. La présence du surveillant sur le site du barrage est privilégiée et décidée en fonction du déroulement de la crue. En cas de rupture des communications entre le cadre et le surveillant de barrage, le surveillant assure seul la surveillance de l'ouvrage depuis le local de surveillance. Des tournées d'auscultation à des cotes définies sont alors prévues.

Le lecteur est renvoyé au paragraphe 3.1.13.2 pour consulter les règles de surveillance s'appliquant sur le barrage des Cambous en état de crue

4.3.4.1 Anticipation des crues

Le Département du Gard est propriétaire et exploitant du barrage des Cambous. Pour assurer sa mission, notamment en période de crue, il est doté de ces outils d'information sur la situation hydrométéorologique du bassin versant concerné, en lien avec différents partenaires :



Tableau 22 : Outils pour l'anticipation des crues sur le barrage des Cambous

Partenaires	Information pluviométrique	Information limnimétrique
Météo France	<ul style="list-style-type: none"> - Bulletins de précipitations de Météo France (2 par jour au minimum) - Avis de précipitation : envoyés automatiquement sur téléphones portables (surveillants et cadre d'astreinte) - Mini site dédié aux PPI des barrages de Sainte Cécile d'Andorge et de Sénéchas, avec images radars et cumuls sur bassin versant : lame d'eau radar sur le bassin versant du barrage, calibrée par pluviomètre au sol, cumulée sur 3h glissant. 	
Service de Prévion des Crues (SPC) – Grand Delta	<ul style="list-style-type: none"> - Site Hydroréel avec cumuls au pluviomètre du barrage - Mise à disposition des données pluviomètre sur un serveur dédié (pas de temps de 5 min) 	
Département du Gard		<ul style="list-style-type: none"> - Limnimètre de type sonde piézométrique (enregistrements en continu, mais non télétransmis) - Echelle limnimétrique

En situation normale, les informations fournies par ces outils sont accessibles par téléphone et sur internet. En conditions dégradées, le surveillant de barrage peut contrôler ces informations directement au local de surveillance du barrage (à minima : cumuls pluvieux au pluviomètre du barrage de Sainte Cécile d'Andorge et cote à l'échelle limnimétrique du barrage des Cambous) et agir de façon autonome sur le site en cas de besoin.

L'organisation spécifique mise en place par le Conseil Départemental du Gard permet d'assurer la surveillance et l'exploitation du barrage en toutes circonstances. La continuité du service est garantie par la mise en place d'astreintes programmées chaque weekend et jours fériés de l'année. Des astreintes non programmées de nuit en semaine peuvent également être décidées au cas par cas, selon les évènements.

4.3.4.2 Règle de gestion des organes hydrauliques en cas de crue

Des essais de manœuvre des organes hydrauliques (uniquement décollement) peuvent être réalisés en charge.

En crue, aucun organe hydraulique n'est manœuvré et le barrage est totalement passif par un déversement à surface libre.

4.3.4.3 Etablissement du rapport de crue

A l'issue de chaque crue, ayant déclenché l'état de crue, un rapport est rédigé par l'encadrement.



Ce rapport présente :

- Le contexte de l'événement ;
- Les intensités pluvieuses maximales ;
- Les cumuls pluvieux (local au barrage et moyen sur le bassin versant) ;
- La cote maximale atteinte au barrage ;
- Les débits maximums en amont et en aval, présentant l'écrêtement par le barrage ;
- Les tournées d'auscultation réalisées ;
- Les éventuels problèmes rencontrés et les mesures particulières prises ;
- Des éléments graphiques : images radar des précipitations, graphiques des cotes au barrage et des débits amont et aval.

Tous les rapports de crue sont joints au rapport de surveillance annuel.

En complément, en cas de problème mettant en cause ou susceptible de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens, une déclaration d'événement précurseur pour la sûreté hydraulique (PSH) ou d'événement important pour la sûreté hydraulique (EISH) pourra être décidée par l'encadrement. La déclaration sera alors diffusée conformément à la réglementation spécifique.

4.3.4.4 Modalités de transmission des informations aux autorités compétentes

En cas de crue, la communication avec les autorités est normalement assurée par l'encadrement (cadre d'astreinte ou niveau hiérarchique supérieur). Cette communication avec les autorités est engagée en cas de constatation de problèmes majeurs sur l'ouvrage, à l'appréciation du maître d'ouvrage.

Toutefois en cas de rupture des communications entre le surveillant de barrage et le Conseil Départemental du Gard à Nîmes, le surveillant sera amené à communiquer directement avec les autorités avec lesquelles les communications seront possibles.

4.3.5 Procédures de surveillance lors d'évènements particuliers

Les événements particuliers sont, par exemple : crue majeure, séisme, résultats d'auscultation anormaux, variation brutale du niveau de la retenue (par exemple en fin d'étiage), glissement de terrain dans la retenue, incendie dans les ouvrages, dommage ou panne importante d'un organe de vantellerie...

Le Département du Gard est averti des événements d'origine externe aux ouvrages par des acteurs spécialisés dans chaque domaine via des conventions de partenariat spécifiques, notamment :

- Hydrométéorologie : Météo France et Service de Prévision des Crues (SPC) – Grand Delta ;
- Sismique : Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives – Département Analyse, Surveillance, Environnement – Laboratoire de Détection et de Géophysique (CEA-DASE-LTG).

Des mesures adaptées à chaque situation seront alors prises, directement par l'exploitant, à des pas de temps adaptés :

- Tournées d'inspection visuelle ;
- Tournées d'auscultation ;



- Essais de manœuvre (vannes, groupe électrogène...);
- ...

En cas de séisme d'une magnitude :

- Supérieure ou égale à 4 survenant dans une zone d'environ 100 km autour de l'ouvrage (délimitée par les coordonnées 42.90° et 45.30° Nord et 2.90° et 5.10° Est) ;
- Ou supérieure ou égale à 6.5 sur le territoire français métropolitain (délimité par les coordonnées 40° et 50° Nord et 5° Ouest et 10° Est) ;

La première tournée d'inspection visuelle du barrage sera réalisée dans un délai maximal de 14 heures après réception des informations communiquées par le CEA.

Dans le cas où les mesures prises par l'exploitant amèneraient à constater des faits anormaux sur les divers équipements du barrage des Cambous, des mesures complémentaires pourront être prises, avec la participation de prestataires extérieurs :

- Campagnes topographiques ;
- Tournée d'inspection par un spécialiste du domaine concerné (génie civil, hydromécanique...);
- Travaux en urgence ;

Le service de contrôle du barrage, le Préfet et les différentes structures susceptibles d'être concernées (Service de Prévision des Crues, service de Police de l'Eau, syndicat de bassin versant, mairies...) seront informés par le maître d'ouvrage.

Le cas échéant, ces événements particuliers feront l'objet de déclarations d'événements précurseurs pour la sûreté hydraulique (PSH) ou d'événements importants pour la sûreté hydraulique (EISH).

4.3.6 Analyse des consignes et de la surveillance mise en place

AVIS SUR L'ORGANISATION DU MAITRE D'OUVRAGE

Des procédures spécifiques ont été rédigées par le Conseil Départemental du Gard pour l'astreinte, l'exploitation et la maintenance de l'ouvrage.

Cependant, en cas de crues ou d'évènements susceptibles d'affecter simultanément la sécurité de plusieurs ouvrages du parc du Conseil Départemental, les consignes de l'exploitant n'explicitent pas si le nombre d'agents d'exploitation est suffisant pour faire face à la fois à un évènement qui surviendrait sur le barrage des Cambous, sur le barrage de Sainte Cécile d'Andorge environnant et sur le barrage de Sénéchas notamment.

AVIS SUR LA SURVEILLANCE ET L'AUSCULTATION

Le personnel mobilisé pour la surveillance et l'auscultation des ouvrages a été sensibilisé au Processus d'auscultation au travers de la mise en place de procédures spécifiques, dénommées E11 et E12.

A noter que le personnel en charge de la surveillance et de l'exploitation de l'ouvrage a été partie prenante lors des réunions d'échanges sur les travaux projetés. Cette participation active du personnel lui a permis d'exposer son point de vue et ses retours d'expériences sur les contraintes d'exploitation futures.



Par ailleurs, en 2022, par l'intermédiaire de son marché d'assistance technique, le Conseil Départemental du Gard a souhaité réévaluer sa pratique dans la réalisation de ses tournées d'auscultation à travers une analyse critique portant sur l'ensemble des aspects touchant à l'auscultation (périmètres, contenus et méthodes de réalisation des tournées d'auscultation). Cette prestation a notamment comporté la réalisation d'une tournée d'auscultation complète sur le barrage des Cambous, en présence d'un ingénieur barrage du bureau d'études agréé en charge du marché d'assistance technique. D'une manière générale, il ressort que les protocoles de mesures sont conformes aux règles de l'art et sont bien exécutés.

FORMATIONS

Les formations suivies par les agents de surveillance et d'auscultation ne sont pas mentionnées dans les documents du Maître d'Ouvrage et gagneraient à y être présentées.

On notera cependant que, dans le courant du 1^{er} semestre 2023, le Conseil Départemental prévoit l'organisation d'une journée de formation de l'ensemble des surveillants de barrage et des cadres amenés à réaliser des astreintes. Cette session de formation sera axée sur la manipulation des outils dont dispose le Conseil Départemental pour tracer les mesures d'auscultation. Elle sera également l'occasion de sensibiliser chacun des acteurs sur l'importance et l'intérêt que revêtent les contrôles de 1^{er} et 2^{ème} niveau.

Enfin, à l'issue des travaux, le personnel affecté à la surveillance et l'exploitation de l'ouvrage devra participer à une mise à jour des outils d'auscultation et de surveillance suite à leur modification due aux travaux de sécurisation du complexe hydraulique Sainte Cécile/Cambous.

AVIS SUR LA GESTION DES ORGANES HYDRAULIQUES EN CAS DE CRUE

Les organes hydrauliques du barrage des Cambous seront légèrement modifiés par le remplacement des vannes à jet creux par des vannes annulaires à piston. Cependant, la gestion des organes hydrauliques en cas de crue telle que décrite dans les consignes écrites de l'exploitant ne devrait pas en être modifiée.

4.3.7 Gestion du retour d'expérience

Chaque évènement marquant est consigné dans le registre du barrage qui constitue ainsi un historique des faits marquants depuis la construction de l'ouvrage.

Un suivi thématique pour chaque organe du barrage est également assuré par des fiches de maintenance.

De plus, le cas échéant, les évènements particuliers font l'objet de déclarations d'évènements précurseurs pour la sûreté hydraulique (PSH) ou d'évènements importants pour la sûreté hydraulique (EISH).

Tout évènement nouveau constaté sur l'ouvrage peut ainsi être examiné en regard de ces historiques.

4.3.8 Respect des procédures et mise à jour du Système de Gestion de la Sécurité en continu

Le document décrivant le Système de Gestion de la sécurité indique que des audits seront réalisés régulièrement pour s'assurer du respect des procédures élaborées.

La politique de prévention des accidents majeurs est également régulièrement analysée à travers une revue de direction.



Les objectifs de la Politique de Prévention des Accidents Majeurs sont respectés pour ce qui concerne les visites, la tenue du registre, la rédaction des rapports d'auscultation, des rapports annuels d'exploitation et de surveillance ainsi que des rapports de visites techniques approfondies.

Le respect de ces objectifs est contrôlé par le service de contrôle, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Occitanie.

Le processus d'amélioration continu sera suivi en privilégiant des mesures d'action préventives si des dérives sont potentiellement constatées.

Les travaux de sécurisation du barrage des Cambous nécessitent une mise à jour des consignes écrites de l'exploitant, sans modification majeure des contraintes d'exploitation et de surveillance autres que celles mentionnées dans les paragraphes ci-dessus.

4.4 POINTS PARTICULIERS EN COURS DE TRAVAUX

4.4.1 Impacts sur l'exploitation

ESSAIS DE VANNES

Pendant la phase de travaux, les vannes ne seront plus manœuvrées, la gestion du débit étant assuré par un siphon installé en rive droite de l'ouvrage (comme ce fut le cas lors des travaux de 2002/2003).



Figure 60: Siphon lors des travaux de 2002/2003

Dans ces conditions, les essais de vannes mensuels ne seront plus possibles.

TOURNEES HEBDOMADAIRES ET MENSUELLES

Durant la période de travaux, certaines tâches prévues par les procédures E20 et E23 ne seront plus envisageables et devront temporairement être reportées ou adaptées en concertation avec l'entreprise en charge des travaux :



- Contrôle visuel de la vantellerie : possible tant que les travaux sur le Génie Civil de la chambre aval n'ont pas débuté ;
- Contrôle visuel de la pompe immergée : possible tant que les travaux sur le Génie Civil de la chambre aval n'ont pas débuté ;
- Contrôle visuel des dispositifs d'auscultation : possible suivant la zone des travaux au moment de la tournée ;
- Essais des vannes : plus possible durant les travaux (cf. ci-dessus).

TOURNEES D'AUSCULTATION

Durant la phase travaux, les tournées d'auscultation seront à maintenir autant que possible, en adaptant la tournée aux indisponibilités temporaires sur certains dispositifs (drains notamment). L'idée étant de disposer d'un maximum de données pendant cette phase spécifique afin de constituer un historique exploitable ultérieurement, pour des conditions d'exploitation que l'ouvrage aura peu rencontrées.

4.4.2 Gestion du risque en phase travaux

La principale contrainte des travaux réside dans la gestion des venues d'eau vis-à-vis de la surverse du barrage et dans la mise à sec de la zone de travaux.

Pour cela plusieurs dispositions sont envisagées :

- Abaissement partiel du plan d'eau afin de limiter les surverses et de disposer d'une marge de manœuvre dans la gestion du plan d'eau selon les débits entrants et la gestion des crues (alerte, mise en sécurité du chantier, ...) ;
- Mise en place d'un dispositif de gestion de débit réservé et de régulation du plan d'eau ;
- Mise en place d'un batardeau aval afin de pouvoir mettre à sec la zone de travaux notamment pour l'exécution et la protection de la fosse et du local technique.

4.4.2.1 Abaissement partiel du plan d'eau

Un abaissement partiel du plan d'eau est nécessaire afin de ne pas avoir de surverse sur la zone des travaux. Selon les modalités de gestion du plan d'eau, il est nécessaire de prévoir une marge de manœuvre afin de pouvoir anticiper toute action sur le plan d'eau en fonction des variations sur les débits entrants et de la montée du plan d'eau générée ou toute action vis-à-vis de la protection du chantier en cas de crue.

Afin de tenir compte des besoins d'abaissement du plan d'eau aval pour les travaux de réalisation de la chambre de restitution des débits du barrage de Sainte, il est proposé d'abaisser le plan d'eau à la cote 224 mNGF préalablement au démarrage des travaux, afin de bénéficier d'environ 400 000 m³ de stockage, tout en conservant une charge suffisante pour la gestion des débits courants et la régulation du plan d'eau en phase travaux.

Un abaissement de 3 m par rapport au seuil déversant permettrait donc de stocker environ 400 000 m³. Les crues du barrage de Sainte Cécile (s'étalant de 1976 à 2002) ont été étudiées afin de déterminer le temps de remplissage de la retenue des Cambous sur les mois d'avril à septembre.



Les débits sortants de Sainte Cécile ont été considérés comme étant les débits entrants au barrage des Cambous. Ces débits ont permis d'estimer le volume d'eau entrant $V_{\text{entrant CAM}}$ dans la retenue des Cambous heure par heure. Dans le même temps, la capacité du dispositif de régulation du plan d'eau ($4\text{m}^3/\text{h}$) permet également d'évacuer une partie de ces débits : $V_{\text{sortant CAM}}$. La différence entre ces deux valeurs ($V_{\text{entrant CAM}} - V_{\text{sortant CAM}}$) permet de déterminer le volume stocké par le barrage des Cambous. Le cumul des volumes accumulés est ensuite tracé en fonction du temps afin de déterminer à partir de quel laps de temps la réserve de $400\,000\text{ m}^3$ est remplie. Ce laps de temps détermine la marge de manœuvre laissée à l'entreprise pour mettre en sécurité le chantier.

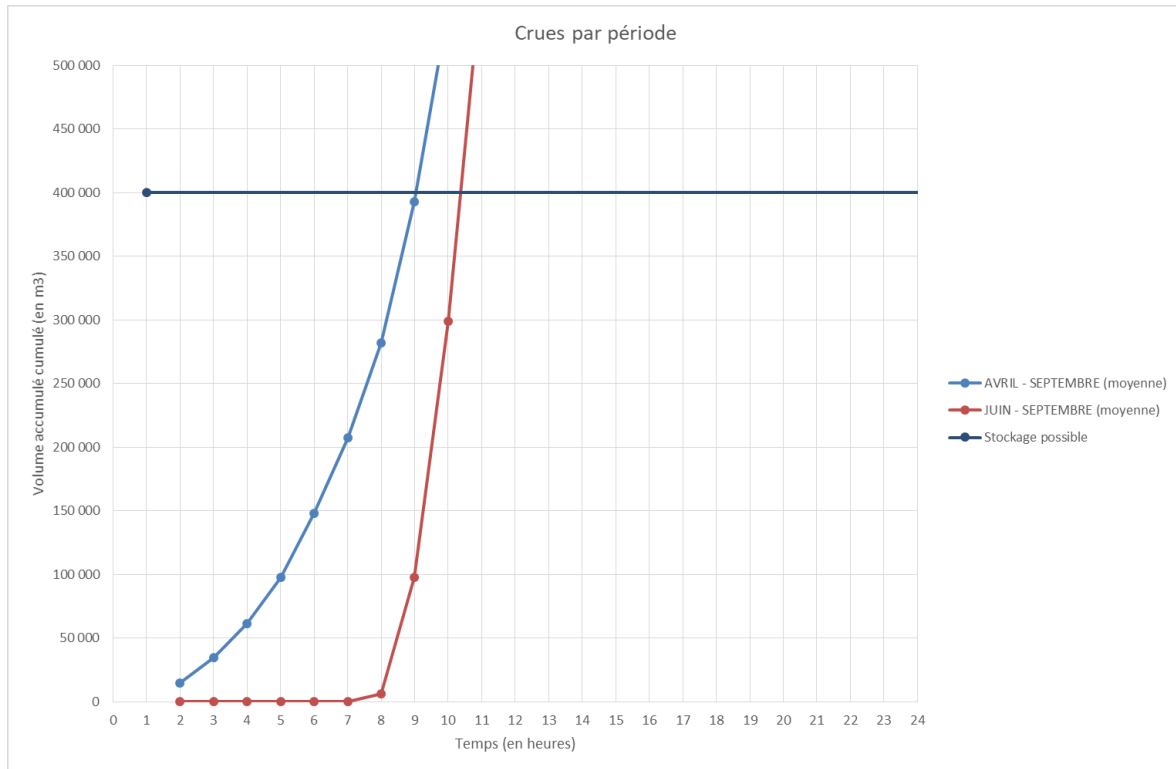


Figure 61 : Analyse des crues sur les périodes Avril-Septembre et Juin-Septembre (moyenne des débits)

Il apparaît que si les travaux sont effectués d'avril à septembre, l'entreprise disposera en moyenne de 9h pour évacuer le chantier et replier le matériel dans le cas de l'arrivée d'une crue. De juin à septembre le délai s'allonge et monte à 10h en moyenne.

En parallèle, une analyse statistique du risque de surverse a été menée en se basant sur l'analyse des crues saisonnière au droit du barrage de Sainte Cécile. Sur la période du mois de juin à juillet, période privilégiée pour les travaux critique sur le barrage des Cambous, les cumuls pluviométriques LM (i.e. $LM_x = \text{cumul pluviométrique sur } x \text{ heures}$) pour les périodes de retours allant de 0.8 à 112 ans ont été appliqués au bassin versant des Cambous (124 km^2). Il en ressort alors les volumes de crues associés suivants (les cases vertes matérialisent les volumes inférieurs à $400\,000\text{ m}^3$ correspondant à la capacité de stockage pendant l'abaissement du plan d'eau) :

Tableau 23 : Volume des crues saisonnières (juin-juillet) au droit du barrage des Cambous (en m³)

T(an)	QP(m ³ /s)	LM1	LM2	LM3	LM4	LM6	LM12	LM24	LM48	LM72
112	164	601 276	1 174 032	1 698 056	2 173 844	2 975 504	4 662 524	6 473 668	8 207 932	9 044 312
56	121	448 384	878 540	1 277 200	1 641 512	2 267 836	3 618 444	5 159 888	6 698 976	7 515 516
20	73	272 800	536 548	786 160	1 018 908	1 435 052	2 397 044	3 606 788	4 914 988	5 639 024
10	51	188 976	372 744	548 452	714 736	1 018 784	1 751 996	2 745 980	3 888 020	4 512 112
8	46	171 120	338 024	498 108	649 760	928 512	1 610 636	2 549 564	3 644 112	4 239 436
7	42	155 000	306 404	451 856	590 364	846 176	1 478 204	2 361 332	3 402 436	3 964 280
6	37	139 996	276 892	408 704	534 688	767 932	1 350 236	2 177 936	3 162 620	3 689 372
5	34	126 108	249 488	368 652	482 484	694 648	1 229 212	1 999 376	2 924 044	3 414 340
4	30	112 964	223 820	330 956	433 752	625 580	1 114 016	1 824 784	2 681 748	3 135 340
3,3	27	100 688	199 640	295 368	387 376	560 232	1 002 664	1 654 036	2 443 916	2 856 464
2,8	24	89 156	176 576	261 516	343 356	497 488	894 908	1 485 520	2 203 604	2 574 984
2,3	21	78 120	154 876	229 524	301 568	437 596	791 120	1 319 732	1 965 152	2 295 116
2,0	18	67 704	134 168	199 020	261 640	380 308	689 812	1 156 424	1 727 692	2 021 200
1,6	15	57 784	114 700	170 004	223 696	325 748	593 712	999 192	1 496 928	1 754 104
1,4	13	48 608	96 472	143 096	188 480	274 784	502 820	850 392	1 278 936	1 499 408
1,1	11	40 052	79 484	117 924	155 372	227 044	417 136	709 156	1 069 376	1 253 268
1,0	9	31 992	63 488	94 364	124 372	182 032	335 916	574 492	866 140	1 009 980
0,8	6	23 808	47 368	70 308	92 752	135 904	251 472	431 024	646 908	738 296

Ce tableau met en évidence que le risque de surverse est quasi avéré durant les travaux.

4.4.2.2 Analyse des risques de défaillance et des solutions préventives envisagées

Les causes possibles de défaillance du système (désamorçage du siphon) sont :

- Un niveau amont trop proche de la prise d'eau du siphon (risque d'aspiration d'air) pouvant se produire en cas d'abaissement du plan d'eau ;
- La présence d'embâcle au niveau de la prise d'eau ;
- Une entrée d'air dans le siphon qui pourrait être due à une manipulation des vannes du siphon en crête du barrage.

Les conséquences d'une défaillance du siphon sont les suivantes :

- Coupure du débit réservé pendant un certain temps jusqu'à réamorçage du siphon ou déversement du barrage (non souhaité) ;
- Désordres sur le chantier du fait de la surverse : inondation de l'emprise du chantier batardée et potentielle rupture du batardeau (merlon).

Les solutions préventives envisagées pour palier à un désamorçage du siphon sont les suivantes :

- Positionnement de la prise d'eau à 1/1.5 m sous le niveau du plan d'eau après abaissement de 3 m de celui-ci pour les travaux, ceci afin de parer au risque d'un désamorçage du fait d'un niveau d'eau trop proche de la prise d'eau ;
- Présence d'une crépine pour éviter le blocage du siphon par des embâcles ;
- Présence d'un dispositif de type capteur de débit, relié à un système de télégestion sur batterie permettant l'envoi d'un sms vers le téléphone d'une personne d'astreinte lors de la détection d'un faible débit (il faudra s'assurer d'une couverture réseau) ;
- Présence de petit matériel type pompe thermique en rive droite pour réamorçage du siphon par l'entreprise si nécessaire.

Le délai maximum pour réamorcer le siphon avant un risque de surverse du barrage est calculé ci-après. Le plan d'eau sera abaissé à la cote de 224 m NGF (3 m d'abaissement) durant les travaux, ce qui représente une capacité de stockage d'environ 400 000 m³. D'après le Tableau 4, le débit moyen mensuel maximum est de 2.7 m³/s. Le délai de remplissage du plan d'eau est donc de 41.1h, la cote du plan d'eau augmente alors de 7.3 cm/h en cas d'avarie du siphon.

Nota : en considérant la Q_{5hum} le débit moyen mensuel maximum est de 4.40 m³/s, le délai de remplissage est donc de 25.2 h, la cote du plan d'eau augmente alors de 11.9 cm/h.



Ce délai laisse suffisamment de temps à une personne d'astreinte le week-end d'organiser le réamorçage du siphon.

Ce délai laisse suffisamment de temps à une personne d'astreinte le week-end d'organiser le réamorçage du siphon.

4.4.2.3 Mise en place d'un merlon faisant office de batardeau

Afin d'isoler le chantier des venues d'eau de la retenue aval, un batardeau de type merlon sera mis en place. Ce batardeau fera environ 2,5 m à 3 m de hauteur pour 3 m de largeur en crête avec des talus qui auront un fruit d'environ 3H/2V. Il sera mis en place avec des matériaux réputés étanches afin de limiter les venues d'eau au sein de la zone de travaux notamment vis-à-vis de l'exécution de la protection en béton de la fosse de dissipation (Zone 1 sur la Figure 62). Les matériaux pourront être de type : granulaire à laquelle une géomembrane est apportée afin d'assurer l'étanchéité ou de type argile limoneuse avec une protection extérieure de type géotextile et enrochements.

Le batardeau sera mis en œuvre dans une zone de « haut-fond » du cours d'eau, où un seuil semble s'être formé avec le temps.

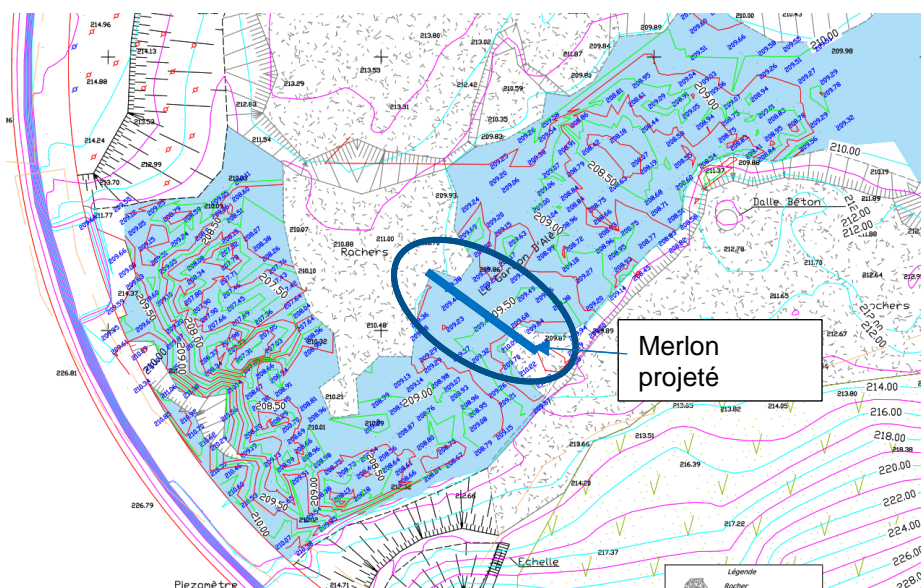
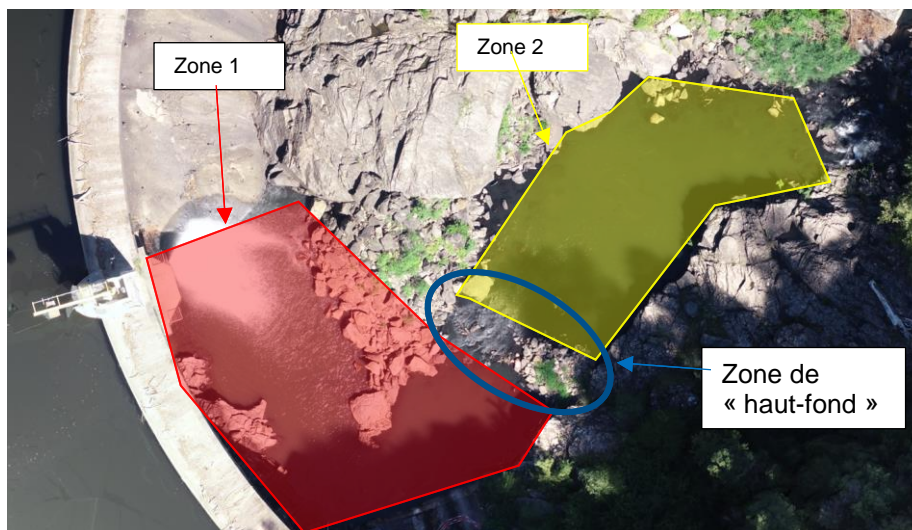


Figure 62: Vidange du bassin de dissipation et batardeage de celui-ci